

**CHEMISCHE UND MINERALOGISCHE UNTERSUCHUNGEN
AN KERAMIK UND MIOZÄNEN TONEN
AUS DEM KRÖNING (NIEDERBAYERN)**

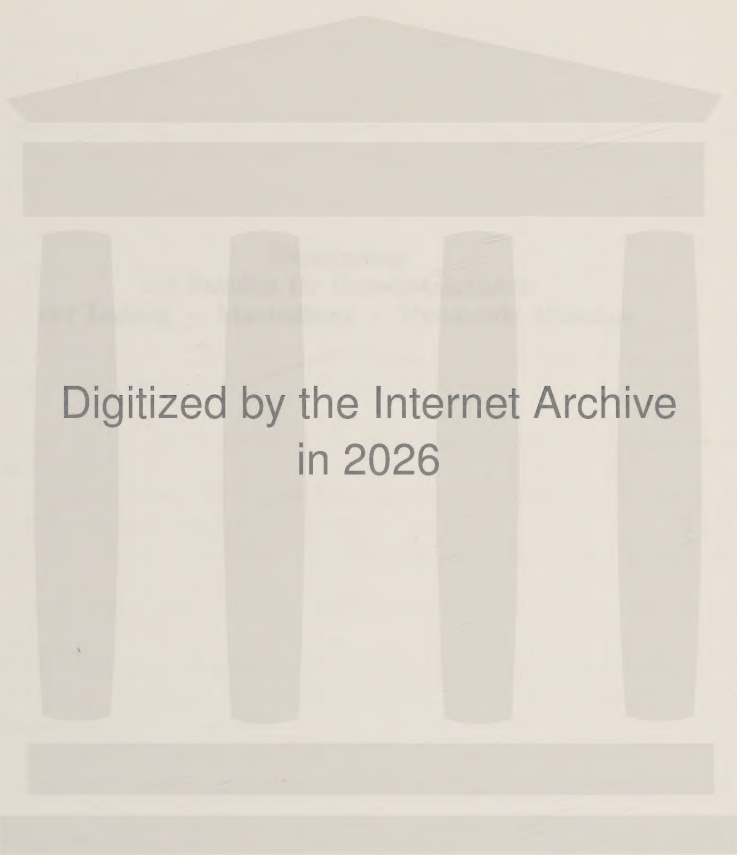
Hans-Jürgen Schwarz

Disbui. München

1989



Chemische und pharmakologische Untersuchungen
an Terebinth und verwandten Terebinthaceen (H. H. H. H. H.)



Digitized by the Internet Archive
in 2026

**Chemische und mineralogische Untersuchungen
an Keramik und miozänen Tonen aus dem Kröning (Niederbayern)**

Dissertation
der Fakultät für Geowissenschaften
der Ludwig - Maximilians - Universität München

vorgelegt von
Hans - Jürgen Schwarz

München, den 29. Juli 1988

1. Berichterstatter : Prof. Dr. Georg Troll
2. Berichterstatter : Prof. Dr. Ludwig Masch

Tag der mündlichen Prüfung : 23. Januar 1989

Herstellung: Hieronymus Buchreproduktions GmbH, München

Vorwort

Zunächst möchte ich Herrn Prof. Dr. G. Troll, der die Arbeit betreute, herzlich danken. Sein persönlicher Einsatz hat wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Herrn Prof. Dr. H.G. Huckenholz danke ich für die Erlaubnis zur Benutzung der Institutseinrichtungen.

Ebenso gebührt Dr. H. Falkner von Sonnenburg für die Benutzung des Röntgenfluoreszenzspektrometers und der Laboreinrichtungen am Doerner - Institut München mein Dank.

Besonderer Dank gilt Dr. A. Burmester, der mir am Doerner - Institut München stets bei Fragen der Analytik und Statistik mit gutem Rat zur Seite stand.

Ferner gilt mein Dank Herrn L. Grasmann, der als Leiter des Heimatmuseums Vilsbiburg umfangreiches Untersuchungsmaterial zur Verfügung stellte und aufgrund dessen Vermittlung weitere Werkstattbruchgruben geborgen werden konnten.

Nicht zuletzt sei all denen gedankt, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben, insbesondere:

Dr. W. Endres, Universität Regensburg, für die volkscundliche Betreuung der Arbeit und Überlassung von Keramikproben,

Prof. Dr. H. Hagn, Universität München, für die Überlassung von Keramikproben,

Dr. P. Horn, Universität München, für die Durchsicht der Arbeit und viele gute Ratschläge,

Dr. Barbara Kleinmann, Mannheim, für die Überlassung von Glasurproben,

Prof. Dr. M. Maggetti, Universität Fribourg (CH), für Unterstützung bei Problemen mit der RFA - Analytik,

Dr. G. Schneider, FU Berlin, für Hilfe bei Fragen der RFA - Analytik,

Dr. H.J. Unger, Geol. Landesamt München, für die Überlassung von Tonproben,

Dr. J. Wannemacher, Universität Saarbrücken, für die REM - Untersuchungen,

und vielen weiteren Kollegen am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität München, die ich stets um Rat fragen konnte.

Diese Arbeit wurde durch die finanzielle Unterstützung der Stiftung Volkswagenwerk ermöglicht.

Inhaltsverzeichnis :

	Seite
1. Einleitung und Ziel der Arbeit	1
2. Zur Geologie des Kröning und des Kröninger Tones	4
3. Die Kröninger Irdenware in der Literatur	10
3.1. Kurze Beschreibung der Kröninger Irdenware	10
3.2. Der Kröninger Ton in der älteren Literatur	13
3.3. Bisherige archäometrische Untersuchungen an Kröninger Irdenware	14
4. Fundsituation und Probennahme	16
5. Analytische Methoden	27
5.1. Probenaufbereitung	27
5.2. Röntgenfluoreszenzanalytik	27
5.3. Pulverdiffraktometrie	37
5.4. Mikroskopie	38
6. Statistische Methoden	39
6.1. Univariate Statistik	39
6.2. Multivariate statistische Verfahren	40
6.2.1. Die Diskriminanzanalyse	42
6.2.2. Die Clusteranalyse	44
7. Brennversuche	46
8. Analytische Untersuchungen an Kröninger Irdenware und Tönen	57
8.1. Elementanalytik mit der Röntgenfluoreszenzanalytik	57
8.1.1. Röntgenfluoreszenzanalytik der Kröninger Irdenware	57
8.1.1.1. Variationsdiagramme	61
8.1.1.2. Clusteranalyse der Kröninger Irdenware	73
8.1.1.3. Diskriminanzanalyse der Kröninger Irdenware	85
8.1.2. Röntgenfluoreszenzanalytik der Vergleichsproben	95
8.1.2.1. Variationsdiagramme	95
8.1.2.2. Clusteranalyse der Vergleichsproben	98
8.1.2.3. Diskriminanzanalyse der Vergleichsproben	99
8.1.3. Röntgenfluoreszenzanalytik der Tone	102
8.1.3.1. Variationsdiagramme	102
8.1.3.2. Clusteranalyse der Tonproben	106
8.1.3.3. Diskriminanzanalyse der Tonproben	107
8.2. Phasenanalytik durch Röntgenbeugung	115
8.2.1. Röntgenbeugungsanalyse der Kröninger Irdenware	115
8.2.2. Röntgenbeugung an den Vergleichsproben	119

8.2.3.	Röntgenbeugung an Kröninger Tonen	119
8.3.	Mikroskopie	127
8.3.1.	Mikroskopische Phasenuntersuchungen	127
8.3.2.	Mikroskopische Korngrößenuntersuchungen	129
9.	Die Glasur der blau glasierten Kröninger Irdenware	135
9.1.	Röntgendiffraktometrie der Glasuren	135
9.2.	Mikroskopie der Glasuren	139
9.3.	Rasterelektronenmikroskopie der Glasuren	140
10.	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick	142
10.1.	Chemische Analytik	142
10.2.	Rohstoffe	144
10.3.	Technologische Aspekte	146
10.4.	Ausblick	147
11.	Literaturverzeichnis	148
	Abkürzungsverzeichnis	155

Anhang	I : Probenbeschreibung	I
	II : Analysenergebnisse der RFA	XIV
	III : Einzelwerte der Pulverdiffraktometrie	XXXVIII
	IV : Einzelwerte der mikroskopischen Messungen	XL
	V : Dünnschliffbeschreibung der Nachbrennversuche	XLIX

1. Einleitung und Ziel der Arbeit

Was sollen naturwissenschaftliche Untersuchungen an Keramik?

Naturwissenschaftliche Untersuchungen an Keramik beschäftigen sich mit der stofflichen Beschaffenheit, dem Gefüge, der Herstellungstechnologie und den werkstoffkundlichen Eigenschaften der Keramik. Bei archäometrischen Untersuchungen geht es jedoch meist darum, auf Fragen von Kulturwissenschaftlern eine Antwort zu finden, die mit ihren Methoden nur ungenügend oder nicht beantwortet werden können. Naturwissenschaftliche Untersuchungen an Keramik betreffen dabei meist folgende grundsätzliche Fragen:

1. Wann wurde die Keramik hergestellt?
2. Wie wurde sie hergestellt?
3. Wo wurde sie hergestellt?

Zur Beantwortung der ersten Frage werden überwiegend physikalische Verfahren wie die C^{14} – Methode oder die Thermolumineszenz – Analyse eingesetzt. Antworten auf Fragen nach der Herstellungstechnologie der Keramik geben mineralogische Methoden. Bei der Frage nach der Herkunft der Objekte führen meist chemische Analysen zum Ziele, obwohl hier auch polarisationsmikroskopische Untersuchungen erfolgreich waren (**Marro** (1979), **Schubert** (1986)).

In vielen Fällen ist das Alter der Proben durch archäologische Untersuchungen der Keramik anhand von datierbaren Funden oder der Fundsituation bereits gegeben; und so beziehen sich die Fragen der Archäologen bzw. Volkskundler oft nur auf das "Wie" und "Wo" einer Keramikproduktion. Es seien einige neuere Arbeiten erwähnt: **Maggetti** (1982), **Nungässer et al.** (1985), **Stout et al.**(1985), **Maggetti et al.** (1986), **Okrusch** (1986), **Schubert** (1986), **Klenck** (1987). Neben der Keramik werden, soweit möglich, lokale Tone in die Untersuchungen einbezogen, da die Tonrohstoffe häufig erst eine schlüssige Antwort auf viele Fragen erlauben.

Immer wieder tauchen folgende Fragen auf:

- Welcher Ton oder welche Tone wurden von den Töpfern verarbeitet?
- Fand eine Aufbereitung der Tone im Sinne einer Schlämmung oder Magerung statt ?
- Wurden zu unterschiedlichen Zeiten oder auch für die unterschiedlichen Funktionen (Teller, Kochtopf) verschiedene Rohstoffe benutzt oder der gegebene Rohstoff verschieden aufbereitet?
- Gibt es eine technische Entwicklung etwa im Sinne einer Qualitätsverbesserung?
- Kann die lokale Keramik anhand von technologischen, mineralogischen oder chemischen Besonderheiten von den keramischen Erzeugnissen anderer Produktionsstätten abgegrenzt werden?
- Ist die lokale Keramik chemisch und mineralogisch homogen zusammengesetzt oder läßt sie sich in stofflich definierte Gruppen einteilen?
- Welche chemischen Elemente eignen sich am besten zur Unterscheidung möglicher Gruppen?

- Können Referenzgruppen definiert werden?
- Wie hoch war die Brenntemperatur – wie war die Brennatmosphäre ?

Das Untersuchungsobjekt : Die Kröninger Idenware

Betrachtet man die topographische Karte von Niederbayern, so taucht der Begriff "Kröning" zweimal auf. Zum einen bezeichnet er eine Gemeinde östlich von Landshut, die aus einigen kleinen Dörfern und Einödhöfen besteht, zum anderen trägt auch einer der Einödhöfe diesen Namen. Bekannt jedoch war seit dem späten Mittelalter bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Landschaft "Kröning", zwischen Isar und Vils gelegen, als "Hafnerstadt", in der eine qualitativ gute Idenware hergestellt wurde. In der Nachbarschaft an der Bina (Abb.1), einem Nebenfluß der Rott, wurde ebenso wie im Kröning eine Keramikproduktion betrieben. Die Erzeugnisse beider Produktionszentren, im "Kröning" und an der Bina, wurden als "Kröninger Geschirr" weit über die Grenzen Altbayerns hinweg gehandelt. Dabei wurde nicht unterschieden, ob die Hersteller im eigentlichen "Kröning" oder an der Bina zu Hause waren. Diese Tatsache ist insoweit von Bedeutung, da anhand von äußeren Kriterien wie Form und Dekor es nicht immer möglich ist, die sogenannte "Kröninger Idenware", wie sie in vielen Museen und Sammlungen zu finden ist, einem der beiden Zentren zuzuordnen oder überhaupt sicher als "Kröninger Geschirr" anzusprechen.

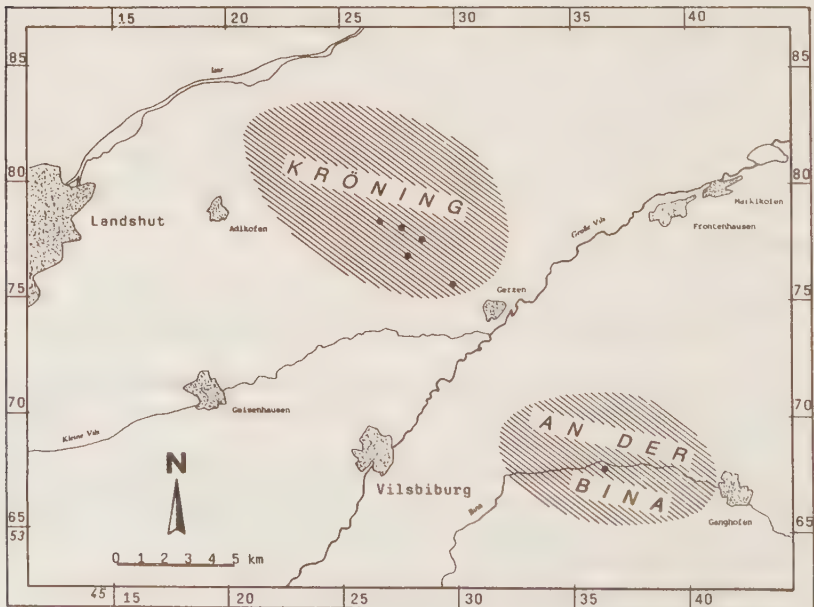


Abb. 1: Übersichtskarte der Hafnergebiete im Kröning und an der Bina

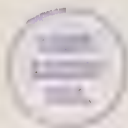
Ein erster schriftlicher Hinweis auf die Hafnerei im Kröning stammt aus dem Jahre 1301 und bezieht sich auf eine Steuerbefreiung für drei Hafner von der Bina (Bauer 1975). Die "Kröninger Hafnerordnung", am 7. August 1428 (Markmiller 1981) von Herzog Heinrich von Bayern - Landshut erlassen, galt für alle Hafner, welche die Tongruben im Kröning benutzten, und läßt vermuten, daß die Hafnerei in diesem Gebiet auch schon geraume Zeit vorher Bedeutung erlangt hatte. Über die Jahrhunderte entwickelte sich hier eine der stärksten Konzentrationen von Hafnerwerkstätten im süddeutschen Raum. Im 18. Jahrhundert erreichte die Produktion einen Höhepunkt, als etwa 80 Hafner fast eine Million Stück Geschirr pro Jahr produzierten (von Obernberg 1816). Im Laufe des 19. Jahrhunderts ging dann im Zusammenhang mit der Bleigesetzgebung 1887 ("Gesetz, betreffend den Verkehr mit blei- und zinkhaltigen Gegenständen": Reichs - Gesetzblatt Nr. 22, Paragraph 1, Ziffer 3, 1887), mit dem Vormarsch des Emaillegeschirrs, des Steinzeugs und des Braungeschirrs das Handwerk immer mehr zurück und kam zu Beginn des 20. Jahrhunderts gänzlich zum Erliegen.

Das Ziel der Untersuchungen

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, in einem ersten Schritt die Kröninger Irdenware chemisch und phasenanalytisch zu erfassen und zu charakterisieren. Unter Zuhilfenahme der Polarisationsmikroskopie, der Untersuchung von Kröninger Tonen (Element - und Phasenanalytik wie auch Brennversuchen) und statistischer Auswerteverfahren soll dann versucht werden, auf folgende Fragen eine Antwort zu geben :

1. Ist es mit naturwissenschaftlichen Methoden möglich, die Erzeugnisse der Produktionszentren Kröning und Bina zu unterscheiden und unbekannte Stücke einem der beiden zuzuordnen?
2. Wie groß ist die chemische Variationsbreite innerhalb einer Werkstatt?
3. Läßt die chemische Variabilität eine Differenzierung der untersuchten Proben nach Herstellungsort, Herstellungszeit, Herstellungstechnologie zu?
4. Im Besonderen soll einigen technologischen Fragen nachgegangen werden:
 - Wurde der Ton mit oder ohne eine zusätzliche Magerung verarbeitet?
 - Wurde z. B. der Henkel eines Topfes anders gemagert als der Rest, oder als einziges Formteil gemagert?
 - Welche Tone der Kröninger Tonlagerstätten wurden bevorzugt genutzt?
 - Gibt es Unterschiede zwischen oxidierend und reduzierend gebrannter, glasierter und unglasierter Ware?
 - Wie ist die Trübung der blauen Glasur zu erklären?

In der vorliegenden Untersuchung wird zum ersten Male Irdenware des 15. - 19. Jahrhunderts eines sehr eng begrenzten Raumes chemisch und mineralogisch bearbeitet. Es standen dabei sowohl reduzierend gebrannte als auch glasierte und unglasierter oxidierend gebrannte Ware aus acht Werkstätten zweier Produktionszentren zur Verfügung.



2. Zur Geologie des Kröning und des Kröninger Tones

Für erfolgversprechende archäometrische Untersuchungen an Keramik ist es wesentlich, die Herkunft des benutzten Tones und einer eventuell zugesetzten Magerung zu kennen. Nur dann ist es möglich, eine sichere Beziehung zwischen Keramik und Produktionsort herzustellen, da Ton und Magerung ihre "Fingerabdrücke" in der Keramik hinterlassen haben, die auch in gebranntem Zustand meist noch identifiziert werden können. Die Kröninger Hafner haben mit Sicherheit den Ton der Kröninger Lagerstätten benutzt.

Der Kröning umfaßt die hügelige Landschaft südöstlich von Landshut und liegt zwischen 430m und 510m NN. Die unter der Quartärüberdeckung liegenden Sedimente fallen in die jungtertiäre Obere Süßwassermolasse (OSM) (Tab.1).

Unter der "Obere Süßwassermolasse" werden alle diejenigen grob- und feinklastischen Ablagerungen im Bereich der westlichen und östlichen Vorlandmolasse zusammengefaßt, die sich nach dem Rückzug des Helvet-Meeres aus dem Molassebecken unter festländischen Bedingungen, d.h. limnisch und fluviatil gebildet haben (Hoffmann 1973).

Tabelle 1: Die Schichtenabfolge der Obere Süßwassermolasse in der Umgebung von Vilsbiburg (Kröning und Binatal) und ihre stratigraphische Einstufung (nach Unger 1987)

Radiometrisches Alter in Mill. Jahren vor heute 1983 RÖGL&STEININGER	Formationen		Regionale Stufen der zentralen Paratethys	Molassegliederung	Lithozonen UNGER 1983	SCHICHTENFOLGE								
						Nördlicher Teilbereich	Südlicher Teilbereich Gebiet um Vilsbiburg							
5 5.4 5.8 8.6 10 11.5 11.8 13.7 15 16.8 17.5 19.0 20	T E R T I Ä R I Ä N M I O Z Ä N	PLIOZÄN	Romanien	Obere Süßwassermolasse	L5	Moldanubische Serie Mischserie	Hangend- serie							
			Dacien											
		Ober-	Pontien					L4						
			Pannonien						L3					
		Mittel-	Sarmatien							Kies und Sand	"Südlicher Vollschotter"			
			Badenien									L2		
			Karpatien										"Nördlicher Vollschotter"	
			Ottmangien											L1
		Eggenburgien	Süßwasserschichten i.w.S.											
		OMM												

BM - Brackwassermolasse

OMM - Obere Meeresmolasse

Die im Kröning aufgeschlossenen Sedimente bestehen aus Grobschottern, Kleinschottern und untergeordnet auch aus Tonen und Mergeln (Gebhardt 1964). Die Schichtenfolge im Kröning umfaßt den Nördlichen Vollsotter (NVS), die Mischserie, die Moldanubische Serie (MS) und die Hangendserie (Tab.1, Abb.2). Der aufgeschlossene Teil des NVS ist dem hangenden NVS zuzurechnen, da der Süßwasserkalk, der als Grenze zum liegenden NVS gilt, bei einem Niveau von 400 – 420m NN zu finden und somit im Kröning nicht anzutreffen ist. Gebhardt (1964) beschreibt den NVS als einen schlecht sortierten, kristallinführenden, karbonatreichen Quarzgroschotter. In den NVS sind ältere Mischsande (d.h. Sande mit moldanubischen wie auch alpinen Komponenten), die aus hellen schräggeschichteten Quarzmittel – bis Quarzgrosanden bestehen, eingeschaltet.

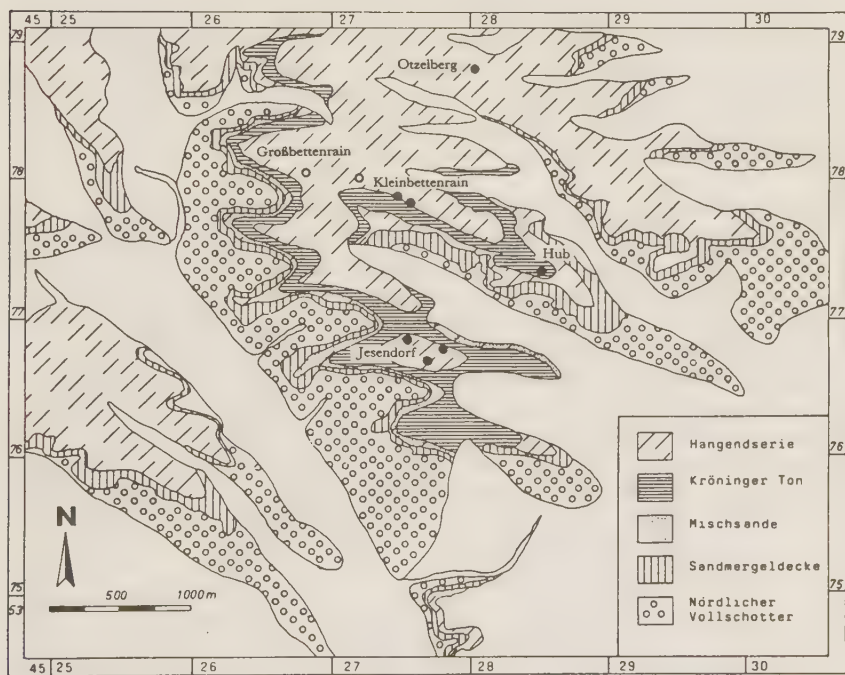


Abb. 2: Vereinfachte geologische Karte des Kröning (nach Gebhardt 1964)

Die Überdeckung des NVS bildet ein im Kröning zwischen 480m und 485m NN weitverbreiteter, 2–5m mächtiger Sandmergelhorizont, der mit der Sandmergeldecke südöstlich des Kröning bei 450–460m NN korreliert werden kann. Die Moldanubische Serie besteht im allgemeinen aus den "reinen" Feldspatsanden, jüngeren Mischsanden und Tonen. Die "reinen" Feldspatsande sind feldspatführende Quarzgrosanden und unterscheiden sich von den übrigen sandigen Ablagerungen der OSM durch ihre Helliarbigkeit, ihre relativ grobe Körnung und ihren

Gehalt an leuchtend weißen Feldspäten im größeren Anteil. Der Feldspatgehalt erreicht nach **Schmeer** (1955) nur etwa 15 – 16%. Die "reinen" Feldspatsande sind erst südlich der Vils ausgebildet und im Kröning nicht aufgeschlossen. Die jüngeren Mischsande treten zwischen 480 – 495m NN (Abb.2) auf und ähneln in ihrer Ausbildung mehr oder weniger den Feldspatsanden, stellenweise auch den Hangendseriensanden. Sie sind aufgrund von Schwermineralanalysen (Zirkongehalt von 10 – 20% **Schmeer** 1955) sicher von den "reinen" Feldspatsanden (Zirkongehalt > 20%) zu unterscheiden.

Während **Gebhardt** (1964) nur einen Tonhorizont (Abb.3) mit dem kaolinitreichen Kröninger Ton beschreibt, unterscheidet **Unger** (1987) (Abb.4) zwei in unterschiedlichen NN – Niveaus lagernde Tonhorizonte mit Mächtigkeiten zwischen 2 – 5m. Den Tonen sind untergeordnet Schluffe und Mergel der Hangendserie zwischengelagert. Somit wurden die Tone im Verzahnungs- und Überlappungsbereich zweier Schüttungen, zum einen aus den Alpen, zum anderen aus dem Moldanubikum, d.h. aus dem Bereich des ostbayerisch – böhmischen Grundgebirges, abgelagert, wobei die moldanubische Komponente überwiegt. Über den Tonen bildet die Hangendserie, sandig und mergelig ausgebildet mit Mächtigkeiten bis zu 30m (**Gebhardt** 1964) den Abschluß der anstehenden Sedimente.

Der als Kröninger Ton bezeichnete Ton im Niveau von 485m NN hat einen hohen Kaolinitgehalt (bis 70 %) und sein Korngrößenmaximum liegt in der Tonfraktion (**Unger** 1987, Datenblatt der Deutschen Keramischen Gesellschaft Nr.88, 1975, Keramikton KG). Bei den Tonen im höheren (Kröning) und im tieferen (an der Bina) Niveau (Abb.5), verringert sich der Kaolinitgehalt stark (**Unger** 1987); die Schwankungsbreite der Korngröße kann bis in die Feinsandfraktion gehen. Die Tone des Kröning, wie die an der Bina, entstanden wahrscheinlich in engbegrenzten Stillwasserbereichen am Rande großer Flußsysteme, die nach einiger Zeit wieder in das fluviale Geschehen mit einbezogen wurden (**Unger** 1987). Der Kaolinit stammt entweder aus der Verwitterung kristalliner Gesteine des Moldanubikum oder aus den heute als Quarzrestschotter vorliegenden Sedimenten Ostniederbayerns.

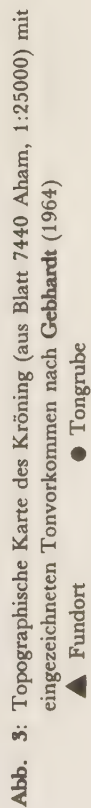


Abb. 3: Topographische Karte des Krönig (aus Blatt 7440 Aham, 1:25000) mit eingezeichneten Tonvorkommen nach Gebhardt (1964)



Abb. 4: Topographische Karte des Kröning (aus Blatt 7440 Aham, 1:25000) mit
 eingezeichneten Tonvorkommen nach Unger (1987)
 ▲ Fundort ● Tongrube

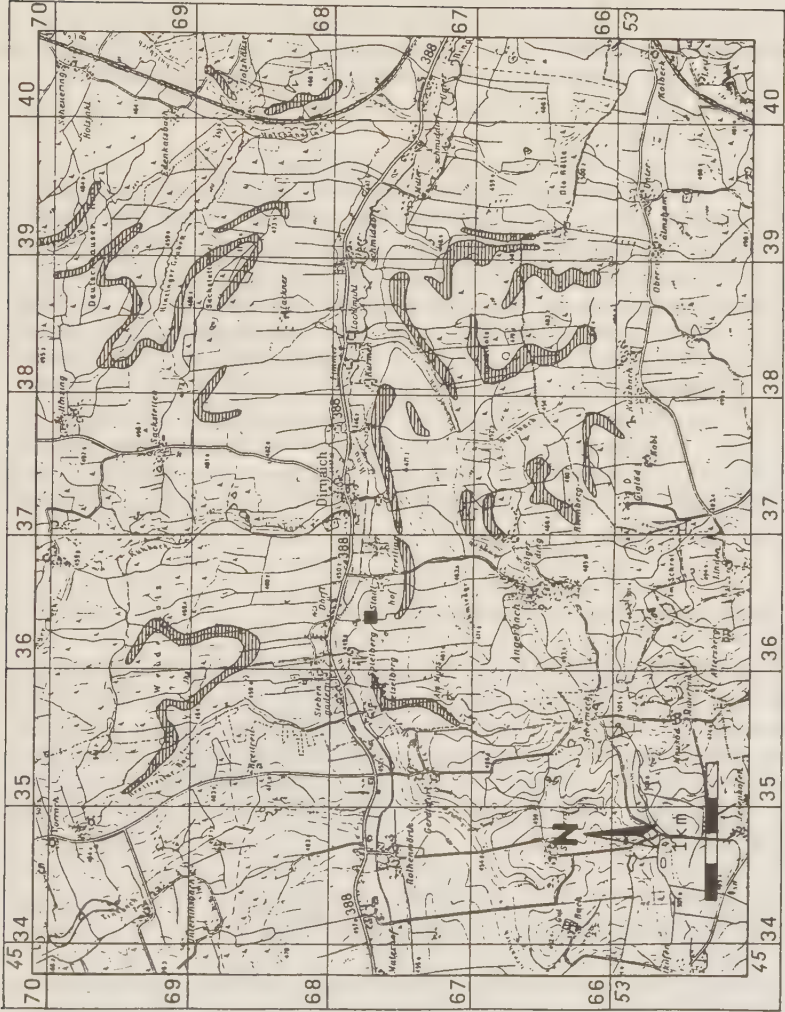


Abb. 5: Topographische Karte des Binatales (aus Blatt 7540 Vilsbiburg und 7541 Ganghofen, 1:25000) mit eingezeichneten Tonvorkommen nach Unger (1987)

■ Fundort

3. Die Kröninger Irdenware in der Literatur

Um einer Begriffsverwirrung vorzubeugen, wird folgendes festgelegt: Mit Kröning ... ohne Anführungszeichen werden im weiteren die Hafnergebiete im Kröning i.e.S., d.h. die Landschaft zwischen Isar und Vils, und am Flüßchen Bina bezeichnet. Ist nur der Kröning i.e.S. gemeint, wird dies entweder durch Anführungszeichen oder im Text explizit zum Ausdruck gebracht.

Die Nomenklatur des Kröninger Geschirrs lehnt sich an die Arbeiten von **Bauer** (1980, 1982), **Bauer et al.** (1987) und **Grasmann** (1978) an.

Eng verbunden mit der volkskundlichen und archivalischen Bearbeitung der Kröninger Irdenware sind vor allem die Namen Ingolf **Bauer** (1975, 1980), Lambert **Grasmann** (1976, 1977, 1978, 1981, 1980, 1983), Bartholomäus **Spirkner** (1909, 1914, 1931) und Paul **Stieber** (1968, 1972). Sie und andere Autoren haben in zahlreichen Veröffentlichungen die Geschichte und Entwicklung der Kröninger Hafnerei, wie auch das Kröninger Geschirr an sich beschrieben, so daß der volkskundlich interessierte Leser detaillierte Beschreibungen bei ihnen nachlesen kann. Im folgenden werden diejenigen Teilaspekte angeführt, die zum Verständnis der nachfolgenden naturwissenschaftlichen Untersuchungen von Bedeutung sind. Neben einer Skizzierung des Kröninger Geschirrs als Warengattung und der Darstellung der Verwendung des Kröninger Tones nach archivalischen Quellen wird auch auf die bisherigen archäometrischen Untersuchungen an Kröninger Irdenware eingegangen.

3.1. Kurze Beschreibung der Kröninger Irdenware

Unter der Bezeichnung Kröninger Irdenware oder Kröninger Geschirr wird sowohl die Keramik aus dem Kröning i.e.S. (Abb.6) als auch die von der Bina (Abb.7) zusammengefaßt. Wie Funde aus Werkstattbruchgruben und Stücke aus Sammlungen und Museen belegen, wurde im Kröning sowohl reduzierend wie auch oxidierend gebrannte, unglasierte wie auch glasierte (Bleiglasur) Irdenware hergestellt. Der Scherben besitzt in oxidierender Atmosphäre eine gelbliche bis rötliche Brennfarbe.

Die Kröninger Irdenware des 15. Jahrhunderts ist durch Bodenfunde fast ausschließlich durch Schwarzgeschirr (Reduktionsbrand) belegt.

Die Bedingungen des Reduktionsbrandes wurden meist dadurch erzielt, daß der Ofen nach vorausgehendem Brand in oxidierender Atmosphäre abgedichtet wurde. Durch einen Überschuß an Brennmaterial wechselt dann die Brennatmosfera von oxidierend zu reduzierend und die reaktionsfähigen Elemente werden dementsprechend zu niedrigeren Oxidationsstufen reduziert. Die wichtigsten Reaktionen, die auch zum überwiegenden Teil die schwarze Färbung des Scherbens bewirken, sind die Reduktion des Eisens,



sowie die Verschiebung des Boudouard'schen Gleichgewichtes zu Werten, die zur Abscheidung von elementarem Kohlenstoff aus der Gasphase führt.

Boudouard'sches Gleichgewicht: $2 \text{ CO} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{C} \quad \Delta H = -172.5 \text{ KJ/mol}$

Auf geglätteten Oberflächen reflektiert der elementare, partiell plättchenförmige "Glanzkohlenstoff" (Letach & Noll 1983, Letach 1982) das auffallende Licht sehr gut, während bei rauen Oberflächen nur eine diffuse Reflexion auftritt (Endres 1982).

Einige datierte Stücke beweisen die Schwarzgeschirrproduktion im Kröning bis zu Beginn der zweiten Hälfte der 19. Jahrhunderts. Daß sich ein Teil der Hafner zumindest zeitweise auf die Produktion von Schwarzgeschirr spezialisiert zu haben scheint, stellt ein Dokument dar (das "Verzeichnis der am Sitze des k. Landgerichts Vilsbiburg bestehenden Gewerbevereine" vom Jahre 1847, Grasmann 1980), das die "Hafner vom Kröning, die sogen. weißen [Hafner]", und die "Hafner an der Bina, die sogen. schwarzen [Hafner]" nennt.

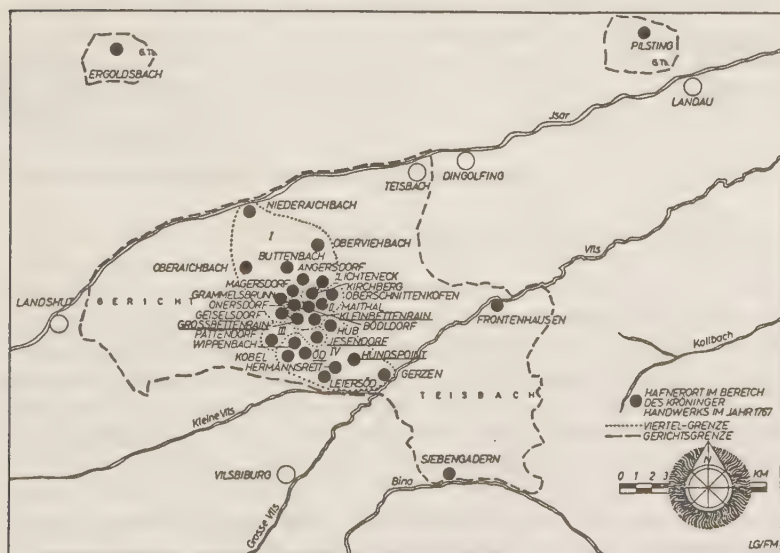


Abb. 6: Die Hafnerorte im Bereich des Kröninger Handwerks im Jahre 1767, Grasmann (1977)

Als jüngstes datiertes Schwarzhafnergefäß gilt ein "Wassergrant" (großer bauchiger Topf) aus dem Jahre 1877, der sich im Heimatmuseum Vilsbiburg befindet. Es wurden fast alle Formen, die oxidierend gebrannt wurden, auch als Schwarzgeschirr hergestellt. So gibt es die bekannten Formen "Bludser" (bauchige Henkelflasche) oder "Milchweidling" (halbtiefe bis tiefe Schüssel) auch als Schwarzgeschirr. Fast

ausschließlich in reduzierend gebrannter Form liegen die Formen "Essigkrug" (bauchiger Doppelhenkeltopf) und "Wassergrant" vor.



Abb. 7: Die Hafnerorte im Binatal, **Grasmann** (1976)

Als Dekor findet man beim Kröninger Schwarzgeschirr z.B. aufgelegte stegartige Leisten (Wassergrant), Fingerdruckleisten (Wassergrant, Essigkrug), sowie horizontal umlaufende Rillen (**Grasmann** 1980). Weiter ist häufig eine Glättung sowohl an den Innen- als auch Außenseiten der Gefäße zu beobachten. Sie tritt sowohl großflächig (Teller, flache Schüssel) wie auch in Form von Linien, Linienbündeln, Wellenlinien, Spiralen, Rautenmustern und ähnlichem auf.

Wann sich das oxidierend gebrannte Geschirr im Kröning gegenüber dem Schwarzgeschirr durchsetzte, ist nicht sicher; **Bauer** (1980) vermutet einen Beginn im frühen 17. Jahrhundert. Kenntnisse der Glasurtechnik dürften jedoch schon ab der Mitte des 16. Jahrhunderts vorhanden gewesen sein (**Grasmann** 1981). Die erhaltenen Stücke stammen meist aus dem 19. und 20. Jahrhundert, seltener aus dem 18. Jahrhundert oder früher.

Der in oxidierender Atmosphäre gelblich brennende Scherben erhielt oft eine mit Ziegelmehl versetzte durchsichtige Bleiglasur, die den Gefäßen dann ein dunkelgelbes Aussehen verlieh. Häufig wurde auch eine grüne Glasur mit Kupferasche als färbendem Glasuranteil aufgetragen (**Grasmann** (1978): "der Hafner verhalf sich zur Kupferasche, indem er Altkupfer wie unbrauchbar gewordene Kupferhaushalts-

geräte ... zunächst zerkleinerte, dann im Brennofen verglühte und im einem Mörser ... zerstampfte"). Braune Farben erhielt man mit Braunstein, blaue mit Smalte (Co - Glas) (die blauglasierte Irdenware wurde zweimal gebrannt) und weiße mit Zinndioxid. Typisch für die glasierte Kröninger Irdenware der Spätzeit (19. Jahrhundert) ist ein sparsam aufgetragener Spritzdekor (meist in bräunlichen und grünlichen Spritzern auf einer gelblichen Glasur). Malhornverzierte Ware ist nur selten vertreten.

Die Kröninger Hafner haben eine Reihe charakteristischer Gefäßformen entwickelt wie die "Bauern - " oder "Suppenschüssel" (flache Schüssel), die "Napf - " und "Teigschüssel" (tiefe Schüssel), den "Nudltegl", den "Oarhefa", "Rahmhefa" oder auch den "Bettlhaferl" (hohe Gefäße). Innerhalb der Produktion hatte wahrscheinlich der "Milchweidling" der Stückzahl nach die größte Bedeutung. Die funktionalen Teile der Gefäße (Wandung, Boden, Fahne, Rand) sind beim Kröninger Geschirr meist deutlich ausgebildet und voneinander abgesetzt (z.B. Grat zwischen Boden und Wandung). Der Rand ist meist kräftig profiliert (Bauer 1982). Neben dieser Massenware haben die Kröninger Hafner auch Sonderformen in geringer Stückzahl hergestellt. Oft zeichnen sich diese Stücke durch eine aufwendige und schwierige Herstellungsweise aus. Bekannt sind vor allem die "Nadlkörbl", aber auch Weihwasserkessel, Tintenzeug, Heiligenfiguren und ähnliches sind belegt (Grasmann 1984). Manchmal findet man auf diesen Sonderformen, im Gegensatz zur übrigen Kröninger Irdenware, den Herstellernamen oder sogar eine Jahreszahl.

3.2. Der Kröninger Ton in der älteren Literatur

Ein Grund dafür, daß auf vielen Gehöften im Kröning neben der Landwirtschaft das Handwerk der Hafnerei betrieben wurde, war wohl der Kröninger Ton gewesen, der den Bauern beim Bestellen der Felder auf Schritt und Tritt begegnete. Seine hervorragende Qualität wird oft in alten Quellen beschrieben. Von **Obernberg** (1816) schreibt: "Ihre Farbe [der Töpfererde] ist nach Art des Mergels aschgrau mit mattem Blau untermischt. Sie fühlet sich fett an, hat eine feine Mischung, und ist rein von fremdartigen Zusätzen". Heute sind die alten Tonabbauere verfallen und im Gelände kaum noch festzustellen. Lediglich im Binatal finden sich in einigen Waldungen noch einige alte Tonlöcher. Von den Binahafnern ist bekannt, daß sie ab dem 19. Jahrhundert ihren Ton aus dem Kröning bezogen haben (Rudhart 1827, von **Obernberg** 1816).

Der typische Kröninger Ton wurde von den Hafnern als "Dower" bezeichnet. Er hat im Rohzustand eine blaue bis violette Farbe und brennt gelblich. Sandige Tone bezeichnet der Hafner als "kurze Dower", fette als "lange Dower". Der Kröninger Ton wurde vor dem Bearbeiten nur von den groben Verunreinigungen befreit und nicht geschlämmt. So schreibt **Schmitz** (1834) : "Die bey Vilsbiburg am Grening vorkommenden Thonarten haben feinen Quarzsand beygemengt, welcher der Masse sehr zuträglich ist und folglich nicht ausgeschwemmt werden darf. Die Masse des Töpfertones ist entweder 5 - 6 mal geschnittener reiner Thon, oder man setzt 1/3 Theil Sand zu". **Schmitz** (1833) erwähnt auch, daß die Hafner schon beim Tongraben auf gewisse Qualitäten geachtet haben: "Bey der Förderung

unterscheidet man: Blaugraue Erde (blauer langer Tegel), weiße Erde (kurzer Tegel) und feiner Quarzsand, welcher der Masse zu den Töpfergeschirren zugesetzt wird. Die blaue Erde besitzt am meisten Plasticität auf der Scheibe und die wird zu den teuersten Gegenständen verarbeitet." Er vermerkt weiter, daß auf der Lagerstätte, die weißen und blaugrauen Schichten mit Streifen des reinsten und feinsten Quarzsandes abwechseln. Die ungemagerten Tone wurden nach **Schmitz** (1834) zu glasierter Ware, die gemagerten zu Gefäßen ohne Glasur verarbeitet.

3.3. Bisherige archäometrische Untersuchungen an Kröninger Irdenware

Archäometrische Untersuchungen an Kröninger Irdenware liegen von **Hagn** (1983, 1985a, 1985b) und seinen Mitarbeitern in Veröffentlichungen vor. Hagn benutzt mikroskopische Methoden zur Untersuchung der Kröninger Keramik an Anschliffen, Dünnschliffen und Körnerpräparaten (Methodenbeschreibung siehe **Hagn** 1983). Anschliffe von Scherben ermöglichen vor allem einen schnellen Vergleich von verschiedenartigem Scherbenmaterial bezüglich Randformen, Scherbendicke, Magerung usw.. Dünnschliffuntersuchungen mit Hilfe des Polarisationsmikroskopes lassen einen Blick in den Mikrobereich zu. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Bestimmung der Mineralphasen, des Gefüges und der Korngröße der Magerung: Hiermit lassen sich charakteristische Geröllchen bestimmen, die einen Schluß auf die Herkunft der Magerung erlauben. Das Ziel der Untersuchung von Körnerpräparaten ist eine Art Geröllanalyse im Mikrobereich. Dabei werden möglichst alle in einem Scherben oder Ton enthaltenen Gesteinsreste herausgelöst, um so auch seltenere Gemengteile gewinnen zu können. Diese Methode verspricht vor allem bei nicht gesinterter Keramik Erfolg. Zur Untersuchung von Tönen wurden von **Hagn** (1983) diese in Form von Blättchen bei etwa 900°C gebrannt und dann weiterverarbeitet.

Die wesentlichen Merkmalsunterschiede im Kröning findet **Hagn** (1985b) "vertikal", d.h. von Jahrhundert zu Jahrhundert und nicht "horizontal", d.h. von Werkstatt zu Werkstatt, sowohl was die Auswahl des Rohstoffes wie auch die Technologie betrifft. In der Chronologie der Kröninger Irdenware besteht für **Hagn** (1985b) eine Diskontinuität an der Wende des späten Mittelalters zur Neuzeit, was deutlich an den Funden von Otzelberg erkennbar ist (**Hagn** 1985b). Dort wurden zwei Scherbengruben geborgen; die eine datiert Hagn ins 15. und die andere ins 17. Jahrhundert. Den Scherbentyp der oxidierend gebrannten Ware bezeichnet **Hagn** (1985b) als "verhältnismäßig hoch gebrannt" und "arm an größeren Magerungsanteilen". Ebenso wie auch die reduzierend gebrannte Ware gleicher Herstellungsweise soll diese Art Keramik ab dem 17. Jahrhundert auftreten. Für das Spätmittelalter, belegt durch Funde aus Otzelberg und Hundspoint, beschreibt er einen keramischen Scherben, der "sehr grob gemagert und viel weicher gebrannt ist" als die oxidierend gebrannten Ware (**Hagn** 1985b). Diesen Scherbentypus nennt **Hagn** (1985a) aufgrund des regelmäßigen Auftretens von Mikroklin auch "Mikroklinkeramik".

Durch mikroskopische Untersuchungen an Kröninger Tönen kommt **Hagn** (1983) im Gegensatz zu **Pletzer** (1974) zu dem Schluß, daß keine künstliche Magerung zur

Erzeugung der Kröninger Irdenware notwendig war. Allein für die Henkel, die aus sandreicherem Ton (**Hagn** 1983) hergestellt wurden, nimmt er eine zusätzliche Magerung mit Sand an. Ein derartig gemagerter Ton (**Grasmann** 1978) wurde von den Hafnern "Herrndower" genannt. Den Unterschied zwischen sandarmer, feinkörniger Keramik (z.B. Kleinbettenrain) und sandreicher, gröberer, mikroklin-führender Keramik (z.B. Otzelberg, Hundspoint) erklärt er sich allein durch die Verwendung von sandreichen und sandarmen Tonen.

Inwieweit obige Ergebnisse mit den Resultaten dieser Arbeit übereinstimmen, die neben der Mikroskopie zusätzlich noch andere aussagekräftige Methoden benutzt, wird in Kapitel 8 und 10 diskutiert .

4. Fundsituation und Probennahme

Man unterscheidet bei Keramikfunden, die später einer wissenschaftlichen Untersuchung zugeführt werden sollen, drei verschiedene Fundsituationen (**Endres 1984**).

- 1) **Einzel – oder Streufunde** : Sie treten in jedem ehemals besiedelten Gebiet und auf allen Handelswegen auf. Sie besitzen für die wissenschaftliche Bearbeitung den geringsten Wert, da der ursprüngliche Zusammenhang nicht mehr zu erkennen ist und eine Zuordnung zu einem Herkunftsort häufig nicht möglich ist.
- 2) **Kulturschutt** : Unter Kulturschutt versteht man die sogenannte "Siedlungskeramik", die in größeren Mengen in ehemaligen Abfallhaufen, Gräbern, Abwassergräben, Brunnen usw. auftritt. Er gewährt den besten Einblick in die Lebensgewohnheiten und die Kultur der ehemaligen Bewohner.
- 3) **Werkstattbruchgruben** : Sie enthalten den Abfall (Bruch beim Brand, Fehlbrandware, Brennhilfen, usw.) einer Hafnerwerkstatt und spiegeln vor allem die Produktionspalette einer Werkstatt wider. Funde aus Werkstattbruch geben Antworten auf Fragen bezüglich der Fertigungstechnologie, der Rohstoffe usw. und werden zur Definition von Referenzgruppen* herangezogen. Bei Fragen nach der Herkunft unbekannter Stücke stellen sie die wichtigste Ausgangsbasis dar.

* **Referenzgruppe** : Unter dem Begriff Referenzgruppe (**Czyż et al. (1984)**) versteht man eine statistisch ausreichende Zahl mineralogisch – chemischer Analysen eines nachweisbar und gesichert an einem bestimmten Ort hergestellten Keramikmaterials. Diese Keramik kann eine bestimmte Warengattung (z.B. Terra Sigillata), eine einzelne Werkstatt bzw. einen repräsentativen Ausschnitt ihrer Produktion oder mehrere Töpfereien einer bestimmten Region umfassen. Durch eine statistisch ausreichende Zahl von Analysen kann das mineralogisch – chemische Spektrum und die Variationsbreite jedes analysierten Parameters erfaßt und die Referenzgruppe definiert werden. Dadurch ist man in der Lage, eine beliebige, analysierte Probe mit den Daten der Referenzgruppe zu vergleichen; stimmt sie mit keiner Referenzgruppe überein, muß man ihre Zugehörigkeit ausschließen. Entsprechen die Werte, so ist die Wahrscheinlichkeit groß, daß sie tatsächlich an dem betreffenden Ort hergestellt wurde. Natürlich ist nie auszuschließen, daß sie auf eine noch unbekannte Referenzgruppe besser paßt.

Unter der Voraussetzung, daß die lokale Produktion eine homogene Zusammensetzung hat, d.h. die Rohstoffe über die gesamte Zeit der Produktion gleichgeblieben sind, sollte nach **Schneider (1978)** zur Ermittlung der Zusammensetzung einer solchen Referenzgruppe eine Anzahl von 5 – 10 Analysen ausreichen.

Bei den in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen wurde zur Definition von Gruppen ausschließlich auf Proben aus Werkstattbruch zurückgegriffen.

In der vorliegenden Arbeit wurden Werkstattbruchgruben aus folgenden Fundorten (Abb.8) untersucht:

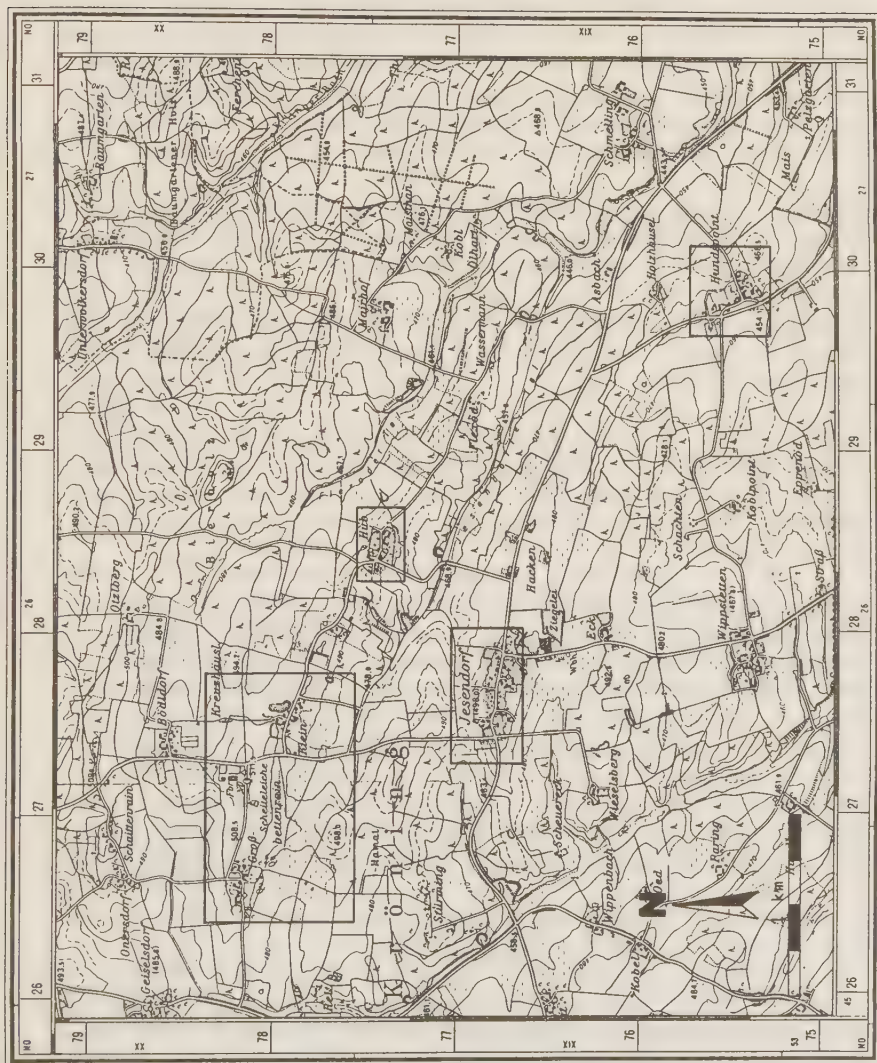


Abb. 8: Ausschnitt aus der topographischen Karte von Bayern 1:25000 Blatt Nr. 7440 Aham; die umrahmten Gebiete der untersuchten Werksstätten sind im folgenden in größerem Maßstab dargestellt.

1) **Kleinbettenrain (Wurzer)** : (Grasmann (1981), Abb.9, Bestand des Heimatmuseums Vilsbiburg)

Fundstelle 1: Sehr ergiebige Fundstelle, die wahrscheinlich eine aufgefüllte ehemalige Tonlagergrube darstellt. Es handelt sich um fast ausschließlich oxidierend gebranntes Material, wobei die unglasierten Teile (90%) überwiegen. Der Rest zeigt zu 70% grüne, zu 25% braune und zu 5% gelbe Glasuren. Bedeutsam ist, daß es sich meist um ausgesprochene Fehlbrandware handelt (Brennrisse, verzogene Ränder, nichthaftende Glasur etc). Der für den Kröning in der Spätzeit typische Spritzdekor wie auch malhornverzierte Ware fehlen.

Fundstelle 2: Wenig umfangreicher Fund mit überwiegend kleinteiligen Fragmenten reduzierend gebrannter Ware, die sich durch sorgfältige Bearbeitung auszeichnet. Die Oberflächen fühlen sich glatt an.

Fundstelle 3: Wenig umfangreiches Material, das zum Teil jedoch sehr gut erhalten ist. Bis auf ein Randstück eines Henkeltopfes ist das gesamte Fundgut reduzierend gebrannt.

Fundstelle 4: Die Menge des geborgenen Materials ist etwa gleichzusetzen mit der aus Fundstelle 1. Außer einigen oxidierend gebrannten Fragmenten wurde nur reduzierend gebrannte Ware gefunden. Es überwiegen Schüsseln und Henkeltöpfe mit je 40%. Den Rest teilen sich Kannen, Deckel, Sonderformen und Schüsselkacheln.

Fundstelle 5: Der Fund weist bis auf ein braunglasiertes Stück nur reduzierend gebranntes kleinteiliges Material auf. Der Anteil der Schüsseln erscheint mit etwa 20% wesentlich geringer als bei den anderen Fundstellen. Der Anteil der Töpfe beträgt etwa 60 - 70%. Ein geglätteter Dekor an Außenflächen ist kaum vorhanden und wenn, dann nur bei (Henkel-)Töpfen mit Kragenrand. Eine Glättung des Innenrandes erscheint sowohl bei Schüsseln als auch bei Töpfen.

Anhand der bisherigen Erkenntnisse (Grasmann 1981) wird eine Datierung für die Fundstelle 1 in die erste Hälfte des 17. Jahrhunderts vorgeschlagen, während die Irdenware der Fundgruben 2 - 5 möglicherweise noch etwas früher anzusetzen ist.

1.2. **Kleinbettenrain (Winterstetter)**: (Abb.9, Fund zur Zeit im Institut für Petrographie und Mineralogie der Universität München)

Von dieser Werkstatt standen nur Oberflächenfunde zur Verfügung, die nicht die Werkstattproduktion insgesamt repräsentieren können. Sie geben jedoch einen Hinweis auf die dort hergestellte Ware und dürfen somit auch zur Unterscheidung gegenüber anderen Werkstätten benutzt werden. Das Spektrum der untersuchten Keramik umfaßt sowohl reduzierend gebrannte wie auch oxidierend gebrannte, glasierte und unglasierte Ware. Die reduzierend gebrannte Ware wird von Grasmann (mündliche Mitteilung) ins 16/17. Jahrhundert datiert.

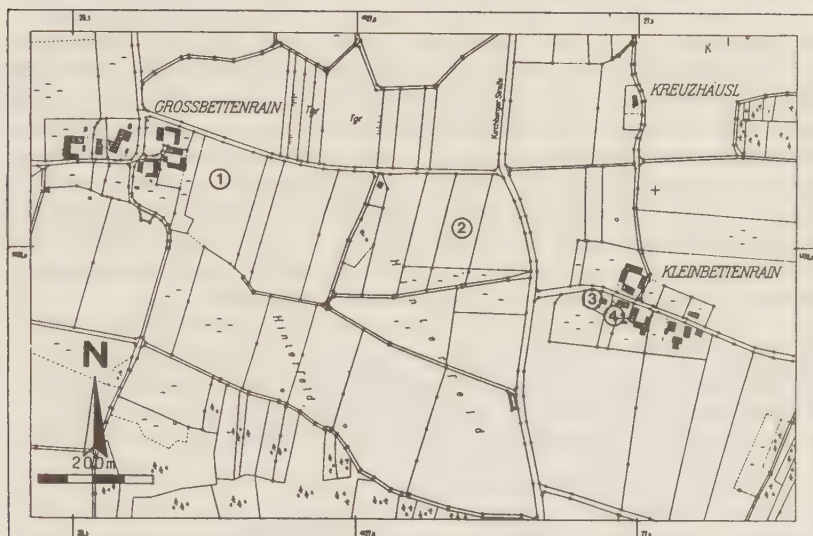


Abb. 9: Probennahmepunkte bei Groß- und Kleinbettenrain

- (1) - Tongrube Kleinbettenrain (R: 4527200, H: 5378000)
- (2) - Tongrube Großbettenrain (R: 4526800, H: 5378050)
- (3) - Fundort Kleinbettenrain (Wurzer) (R: 4527440, H: 5377900)
- (4) - Fundort Kleinbettenrain (Winterstetter) (R: 4527475, H: 5377900)

2.1. Jesendorf (Schickerbauer) : (Abb.10, Bestand des Heimatmuseums Vilsbiburg)

Es handelt sich um reduzierend gebranntes Material aus dem 16. Jahrhundert. Man ist sich noch nicht ganz sicher, ob es sich um eine Werkstattbruchgrube handelt oder nicht.

2.2. Jesendorf (Eder) : (Abb.10, Bestand des Heimatmuseums Vilsbiburg)

Hier handelt es sich um glasierte wie auch unglasierte oxidierend gebrannte Keramik. Die glasierte Ware zeigt häufig das Kröninger Spritzdekor, das charakteristisch für die Ware der Spätzeit ist. Dies führt zu einer Datierung ins 18/19. Jahrhundert.

2.3. **Jesendorf (Wippenbeck)** : (Abb.10, Fund zur Zeit im Institut für Petrographie und Mineralogie der Universität München)

Der Fund besteht aus oxidierend gebrannter Ware, glasiert wie auch unglasiert und einer großen Anzahl von reduzierend gebrannten Geschirren. Neben Fragmenten von Töpfen, Schüsseln, Kannen wurden solche von Sieben, Wassergrat und Essigkrügen geborgen. Die oxidierend gebrannte Ware ist unglasiert oder an der Innenseite glasiert. Der Spritzdekor konnte bei keinem Stück nachgewiesen werden. Die reduzierend gebrannte Ware weist oft Glättungsspuren, zum Teil in Linienmustern oder auch flächendeckend, auf. Es überwiegt der Kremprand gegenüber dem Kragenrand. Ein großer Teil läßt eine Deutung als Fehlbrandware zu (schlechte Glasur, abgeplatzte Teile, Oxidationsflecken). Eine erste Datierung (Grasmann, mündliche Mitteilung) weist ins 17/18. Jahrhundert.

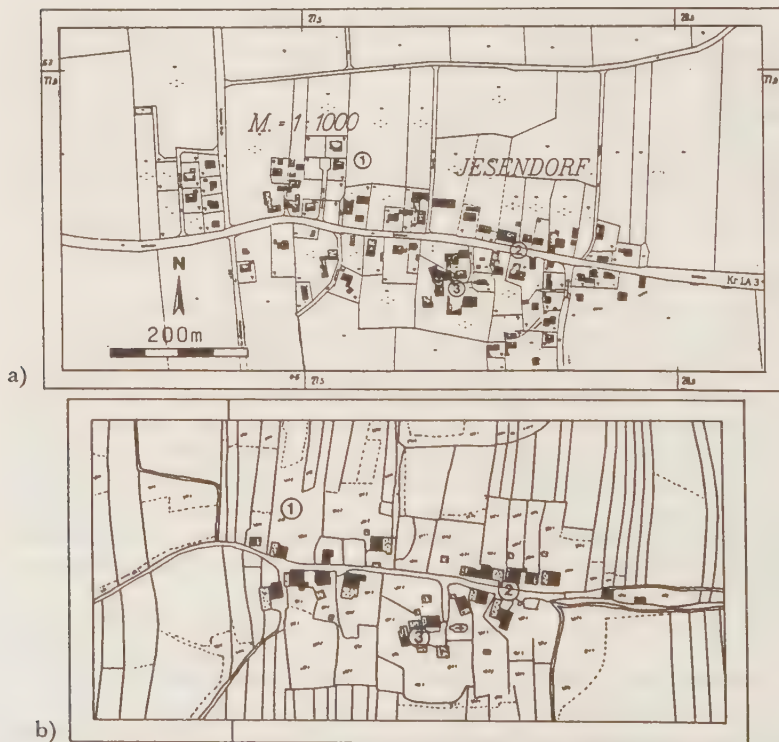


Abb. 10: Ausschnitte der Flurkarten um Jesendorf

a) von 1982

b) von 1812

(1) Werkstatt Wippenbeck (R: ⁴⁵27700, H: ⁵³76575)

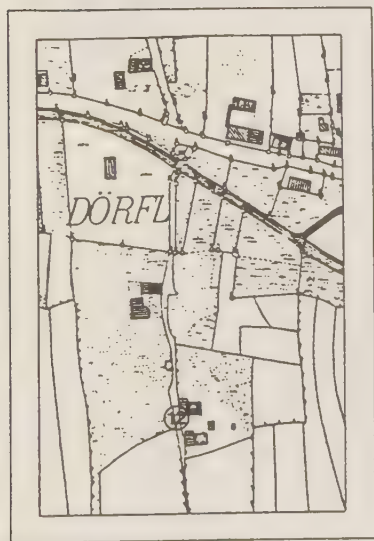
(2) Werkstatt Eder (R: ⁴⁵27525, H: ⁵³76840)

(3) Werkstatt Schickerbauer (R: ⁴⁵27800, H: ⁵³76750)

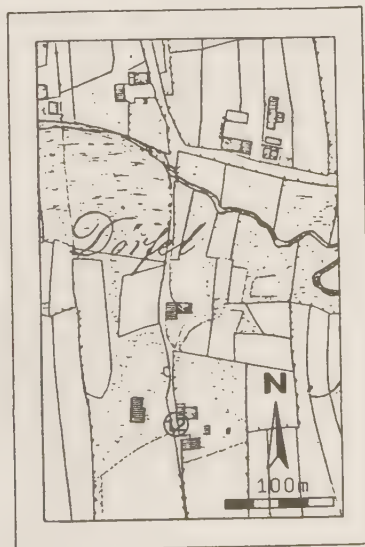
3. **Bina (Dörfl)** : (Abb.11, Fund zur Zeit im Institut für Petrographie und Mineralogie der Universität München)

3.1. **Fundstelle "Garage"** : Der Fund besteht fast ausschließlich aus oxidierend gebrannter, glasierter und unglasierter Keramik. Die wenigen reduzierend gebrannten Scherben sind wahrscheinlich der benachbarten Fundstelle "Stall" zuzurechnen. Bei den Glasurfarben herrschen gelbe, grüne und braune Töne vor. Sie sind meist einfarbig aufgetragen oder auch als Spritzdekor (meist braune neben grünen Spritzern auf gelbem Untergrund). Malhornverzierte Ware ist durch ein Exemplar vertreten. Es überwiegen flache bis tiefe Schüsseln neben Töpfen und Krügen.

3.2. **Fundstelle "Stall"** : Überwiegend reduzierend gebrannte Ware mit wenigen oxidierend gebrannten Stücken. Charakteristisch für die reduzierend gebrannte Ware ist ein häufig auftretender Glättungsdekor, der zum Teil großflächig, aber auch in Form von Strich- und Linienmustern auftritt. Der Kremprand dominiert. Es handelt sich meist um bauchige Töpfe mit Henkel, Schüsseln, Tellern und Kannen.



(a)



(b)

Abb. 11: Ausschnitt der Flurkarten um Dörfl: (a) von 1969, (b) von 1898
 (1) Fundstelle Stall (2) Fundstelle Garage (R: 4536350, H: 5367725)

4. Hub : (Abb.12, Fund zur Zeit im Institut für Petrographie und Mineralogie der Universität München und im Heimatmuseum Vilsbiburg)

4.1. **Fundstelle "Hof"** : Es handelt sich überwiegend um reduzierend gebrannte Ware (Töpfe, Essigkrug, Teile eines Kachelofens). Charakteristisch ist ein Glättungsdekor in Form von Strich- und Linienmustern (Wellen, Rauten). Zum Teil ist die Ware recht dünnwandig gedreht. Bis auf einen Teller, den Grasmann (mündliche Mitteilung) aufgrund einer Rollstempelverzierung ins 17. Jahrhundert datiert, ist oxidierend gebrannte Ware nur in kleinen Fragmenten vorhanden.

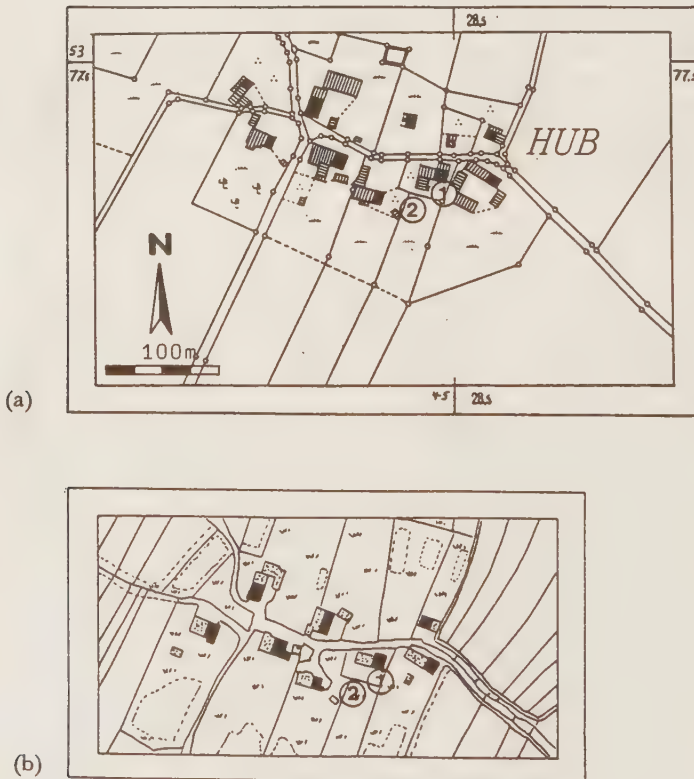


Abb. 12: Ausschnitt der Flurkarte um Hub

(a) von 1982

(b) von 1812

(1) Fundstelle "Hof" (R: 4528500, H: 5377375)

(2) Fundstelle "Hühnergarten" (R: 4528475, H: 5377375)

4.2. Fundstelle "Hühnergarten" : Es ist sowohl reduzierend wie auch oxidierend gebrannte Ware vertreten. Bei der oxidierend gebrannten Ware handelt es sich um verschiedene unglasierte und glasierte Schüsseln, "Reinen" usw., wie auch um einen Fehlbrand glasierter Ware, meist mit Tupfendekor. Auch blau glasierte Stücke, ein braun glasierter "Bludser" sowie ein "Birnenkrug" sind darunter. Der reduzierend gebrannten Ware fehlt der Glättungsdekor der Fundstelle Hof; an dessen Stelle tritt ein Rillendekor aus mehreren umlaufenden Rillen. Da im ganzen Komplex nur wenige Fragmente einer Schüssel mit Spritzdekor entdeckt wurden, deutet eine erste Datierung nach Grasmann (mündliche Mitteilung) auf Mitte 18. bis Mitte 19. Jahrhundert.

5. Hundspoint: (Grasmann (1983), Abb.13, Bestand des Heimatmuseums Vilsbiburg)

Bei den Funden handelt es sich größtenteils um reduzierend gebrannte Ware. Die wenigen oxidierend gebrannten, glasierten wie unglasierten Stücke zeigen eine gewisse Ähnlichkeit mit den aus Kleinbettenrain stammenden Stücken. Eine erste Datierung ordnet einen Teil des Fundes um 1500 ein, während ein anderer Teil als formal jüngere Anschlußware an den Kleinbettenrain Fund des 17. Jahrhunderts einzustufen ist.

Von oben aufgeführten Fundorten und Fundstellen wurde eine repräsentative Anzahl von Stücken zur Untersuchung und Charakterisierung der Kröninger Irdenware ausgewählt (Tabelle 2).

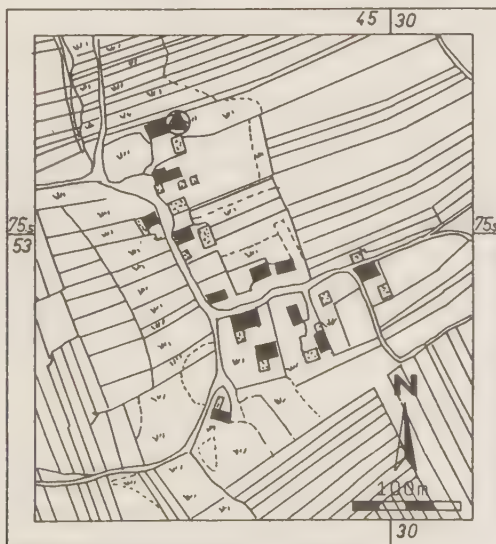


Abb. 13: Ausschnitt der Flurkarte um Hundspoint von 1812
(R: 45²⁹⁸⁰⁰, H: 53⁷⁵⁶⁰⁰)

Tabelle 2: Auflistung der zur Charakterisierung benutzten Irdenware und Tone

Fundort	Fundgruppe	Datierung	Anzahl der Proben
Kleinbettenrain Wurzer (KL)	Grube 1 (KA)	17. Jht.	10
	Grube 2 (KB)	16. Jht.	10
	Grube 3 (KC)	16. Jht.	10
	Grube 4 (KD)	16. Jht.	9
	Grube 5 (KE)	16. Jht.	11
Kleinbettenrain	Winterstetter (KW)	16/17. Jht.	15
Hundspoint (H)	Schicht 1 (HA)	15. Jht.	10
	Schicht 2 (HB)	15. Jht.	10
	Schicht 3 (HC)	15. Jht.	10
Jesendorf	Eder (JE)	18/19. Jht.	12
	Schickerbauer (JS)	16. Jht.	10
	Wippenbeck (JW)	17/18. Jht.	43
Bina (Dörf)	Garage (BG)	19. Jht.	25
	Stall (BA)	16./17. Jht.	72
Hub	Hof (HUB)	17/18. Jht.	15
	Hühnerstall (HUO, HUS)	18/19. Jht.	30
Großbettenrain	Tongrube 1		25
Kleinbettenrain	Tongrube 2		17

Tabelle 3: Auflistung der Vergleichsproben und zusätzlichen Tonproben

Fundort	Bemerkungen	Zahl der Proben
Kleinbettenrain	(K)	4
Hundspoint	(H,HF)	20
Öd	(Ö)	2
Gschaid	(G)	2
Regensburg	Prebrunn (RP)	10
Bina (Dörf)	Feld (BF)	10
	Haus (D)	8
Vilsbiburg	Obere Stadt 18 (VB)	11
	Obere Stadt 33 (VC)	12
Otzelberg	(OZ)	10
Tonproben	Kl – Winterstetter	4
	Bina	7
	Kröning sonst	15

Zur Untersuchung der Kröninger Tone wurden die Tongruben Groß- und Kleinbettenrain im Vertikalprofil, in der Tongrube Großbettenrain auch ein Horizontalprofil, beprobt (Abb.9, 14). Eine petrographisch – mineralogische Beschreibung der Tongruben ist bei **Hoffzimmer** (1988) und **Unger** (1987) zu finden. Des weiteren kamen Tonproben aus Kleinbettenrain, von der Bina und verschiedene andere Kröninger Tone (**Unger** 1987 und Anhang I, II), wie auch Keramikproben verschiedener Fundorte zu Vergleichszwecken zur Untersuchung (siehe Vergleichsproben, Tabelle 3).

Kleinbettenrain

Großbettenrain

(vgl. Unger 1987, S.34)

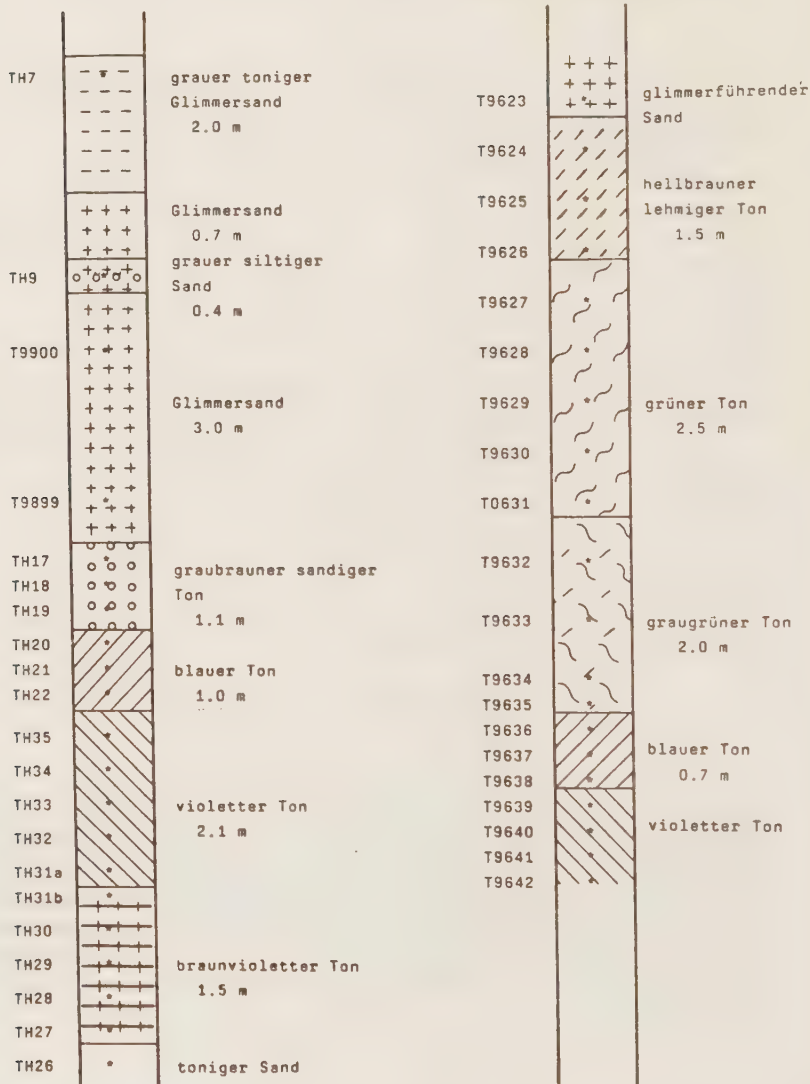


Abb. 14: Schematische Profile der Tongruben Groß- und Kleinbettenrain mit Probennahmepunkten (*)

5. Analytische Methoden

5.1. Probenaufbereitung

Zur Analyse wurde ein etwa 4 – 10g schweres Stück mit einer Diamantsäge aus der Keramikprobe herausgesägt. Verunreinigungen der Oberfläche und eventuell vorhandene Glasur wurden ebenso mit einer Diamantsäge entfernt. Das so erhaltene Probenstück wurde anschließend im Ultraschallbad mit destilliertem Wasser gereinigt, an der Luft getrocknet und mit der Achatmühle analysenfein gemahlen. Das Probenpulver wurde dann entweder getrocknet (105°C, 16 Stunden) oder geglüht (1000°C, 1 Stunde) der Analytik zugeführt. Die Probenpulver der Tone wurden ebenso behandelt.

Zur Analyse auf Haupt- und Spurenelemente mit der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) wurde das geglühte Probenpulver mit einem Flußmittel (Spektromelt A12 der Firma Merck) im Verhältnis 1:4 gemischt, im Pt/Au-Tiegel bei 1100°C 15 Minuten geschmolzen und in Pt/Au-Formschälchen abgegossen.

5.2. Röntgenfluoreszenzanalytik

Bei der Röntgenfluoreszenzanalyse werden die in der Probe enthaltenen Elemente durch hochenergetische Röntgenstrahlen zur Emission ihrer charakteristischen Fluoreszenzlinien angeregt. Die Wellenlänge der einzelnen Fluoreszenzlinie ermöglicht die Identifizierung des Elementes und ihre Intensität ist proportional zur Konzentration in der Probe.

Zielsetzung der Elementanalytik ist es, eine auf unterschiedlichen Elementkonzentrationen gestützte Charakteristik der Kröninger Irdenware zu erarbeiten. Die quantitative Elementanalytik wurde am Doerner-Institut München mit einem wellenlängendispersiven Röntgenfluoreszenzspektrometer durchgeführt (Philips PW1400 mit Rh-Röhre, automatischem Probenwechsler, DEC-Rechner PDP 11/23, X14-Software).

Die Matrixkorrektur wurde bei den Hauptelementen, den Spurenelementen mit einer Ordnungszahl kleiner als Ni und bei Ba nach dem Verfahren von De Jongh unter Benutzung der theoretischen Alphas durchgeführt. Der Einfluß der Matrix auf die Bestimmung der übrigen Spurenelemente wurde durch Korrektur mit Hilfe der Rh-Compton-Streuung berücksichtigt.

Zur Eichung wurden die internationalen, geochemischen Referenzproben G2 (Granit, USGS-USA), UB-N (Serpentinit, ANRT - Frankreich), GH (Granit, CRPG - Frankreich), AN-G (Anorthosit, GIT-IWG - Frankreich), MRG-1 (Gabbro, CCRMP - Kanada), W2 (Diabas, USGS-USA), TB (Schiefer, ZGI-DDR), SCO-1 (Cody shale, USGS-USA), BHVO-1 (Basalt, USGS-USA), RGM-1 (Rhyolit, USGS-USA), DR-N (Diorit, ANRT - Frankreich), QLO-1 (Quarz-Latit, USGS-USA), BEN (Basalt, GIT-IWG) und AGV-1 (Andesit, USGS-USA) benutzt.

1) Reproduzierbarkeit der RFA-Anlage : Überprüft wurde diese durch wiederholtes Messen (20x) ein und derselben Probe. Wie zu erwarten, liegt die gerätebedingte Reproduzierbarkeit über der durch die Eichung bedingten Reproduzierbarkeit des Meßprogramms (Tabelle 4). Besonders deutlich wird dies bei Na_2O , das geräteseitig trotz der niedrigen Konzentration in der Probe ($< 0.1\%$) mit einer relativen Standardabweichung von 0.77% gemessen werden konnte, während andererseits sich durch das Meßprogramm eine relative Standardabweichung von 15.1% ergab. Bedingt wird dieser Fehler durch den niedrigen Gehalt der Probe an Na_2O ; die Na_2O -Konzentrationen der benutzten Referenzproben liegen immer deutlich höher. Somit ist die Reproduzierbarkeit der Messungen als gut zu bezeichnen, soweit die Elementgehalte im Rahmen des durch die Referenzproben abgedeckten Bereichs bleiben. Maggetti et al. (1986b) geben für die Standardabweichung ihrer Analysenwerte an Keramikproben, die ebenfalls mittels RFA bestimmt wurden, im Mittel für Hauptelemente 0.6% und für Spurenelemente 0.9% an (vgl. Tabelle 4, 5).

2) Reproduzierbarkeit des Aufbereitungsverfahrens: Dazu wurden aus einer homogenisierten, größeren Probe (Ziegel aus Jesendorf) 10 Schmelzlinge angefertigt und mit einem geeigneten Meßprogramm gemessen. Dabei ergaben sich die in Tabelle 5 aufgeführten Reproduzierbarkeiten. Die relative Standardabweichung der Messungen ist bis auf Na_2O und $\text{Sr} \leq 1\%$. Zieht man zusätzlich die Reproduzierbarkeit der RFA-Anlage mit in Betracht, so wird deutlich, daß der Aufbereitungsfehler im Bereich des relativen Fehlers von Wiederholungsmessungen derselben Probe liegt. Damit kann auch das benutzte Aufbereitungsverfahren als zuverlässig und reproduzierbar bezeichnet werden.

3) Richtigkeit der Messungen : Einen ersten Überblick über die Richtigkeit der Messungen geben die Elementsummen. Abbildung 15 läßt erkennen, daß es Proben gibt, die mit einem relativ großen Fehler analysiert wurden. Auch wenn man einige der Proben, die in der Analysensumme stark von 100% abweichen, durch Aufbereitungsfehler und Einwaagefehler erklärt, so bleibt immer noch ein Summenintervall von 97 bis 103% , innerhalb dessen die Hälfte aller Proben bei etwa 100% liegen.

Tabelle 4: Es sind die relativen Standardabweichungen der gemessenen Zählraten wie auch die relativen Standardabweichungen der mittels eines Eichprogramms erzeugten % - und ppm - Werte der zwanzig Messungen angegeben. Des weiteren wird der Meßbereich der benutzten Referenzproben und als Angabe der Genauigkeit der Messungen die maximale Abweichung der Meßwerte vom empfohlenen Referenzprobenwert aufgeführt.

	s rel. [%] Zählrate	s rel [%] Meßprogramm	Meßbereich der Referenz- proben	Fehler maximal
SiO ₂	0.23	0.32	39 - 75 %	< 4 %
TiO ₂	0.29	0.29	0.1 - 3.7 %	< 0.06 %
Al ₂ O ₃	0.23	0.30	8.5 - 30 %	< 1 %
Fe ₂ O ₃	0.19	0.15	1.4 - 18 %	< 0.25 %
MnO	0.54	1.90	0.03 - 0.1 %	< 0.01 %
MgO	0.49	0.68	0.3 - 14 %	< 0.2 %
CaO	0.27	0.25	1 - 15 %	< 0.3 %
Na ₂ O	0.77	15.1	0.7 - 4.4 %	< 0.1 %
K ₂ O	0.17	0.21	0.2 - 4.5 %	< 0.1 %
P ₂ O ₅	0.59	2.26	0.01 - 1.1 %	< 0.02 %
Ba	0.75	1.85	50 - 1200 ppm	< 70 ppm
Cr	0.52	1.54	8 - 370 ppm	< 10 ppm
Ni	0.42	2.53	3 - 300 ppm	< 10 ppm
Rb	0.17	0.66	10 - 230 ppm	< 15 ppm
Sr	0.18	0.97	100 - 500 ppm	< 30 ppm
Zn	0.34	1.36	60 - 250 ppm	< 13 ppm
Zr	0.17	0.37	100 - 300 ppm	< 30 ppm
Nb	0.34	2.77	6 - 100 ppm	< 5 ppm
Y	0.17	2.60	11 - 130 ppm	< 7 ppm
V	0.48	1.06	14 - 500 ppm	< 15 ppm

Tabelle 5: Reproduzierbarkeit des benutzten Aufbereitungsverfahrens, angegeben als relative Standardabweichung der Zählrate von 10 Schmelzlingen derselben Probe

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
s [%] rel.	0.5	0.5	0.7	0.4	0.6	0.5	0.4	2.2	0.2	0.7
	Y	V	Ba	Cr	Ni	Rb	Sr	Zn	Zr	Nb
s [%] rel.	0.4	0.4	0.8	0.9	0.8	1.0	1.1	0.3	1.0	0.3

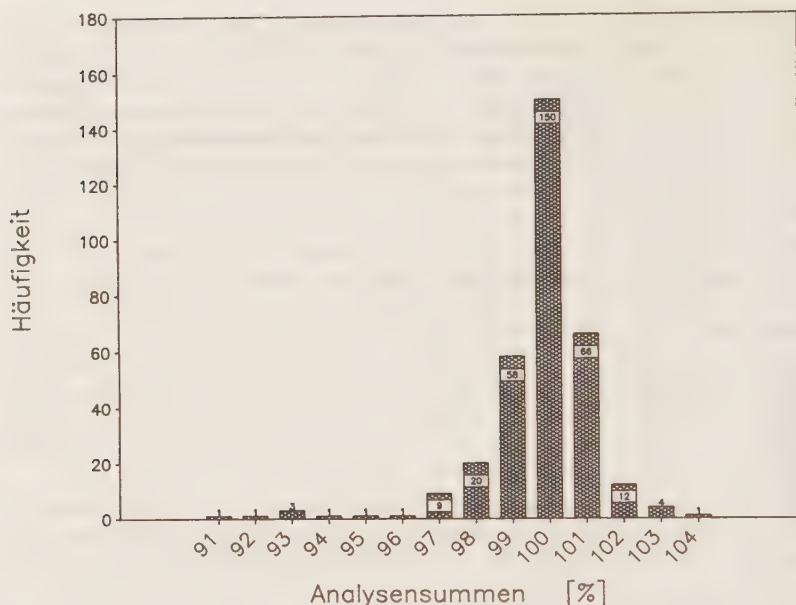


Abb. 15: Häufigkeit der Analysensummen

Anhand der benutzten geochemischen Referenzproben und durch Vergleichsmessungen des geochemischen Labors in Fribourg (CH) (Prof. Dr. M. Maggetti, Dr. G. Galetti) (Tabelle 6) wurde der maximale Fehler, d.h. die maximale Abweichung in den Absolutwerten, abgeschätzt (Tabelle 4). Obwohl insgesamt gesehen die Werte für die einzelnen Elemente durchaus im Rahmen der RFA-üblichen Schwankungen liegen, gibt es speziell mit Sr, Na₂O und SiO₂ Probleme, die im folgenden diskutiert werden.

Bei Sr handelt es sich dabei weniger um ein Meßproblem, als um ein Problem der Verunreinigungen des benutzten Flußmittels (SMA12, Merck). Da zur Herstellung aller Proben zwei Produktions-Lieferungen des Flußmittels benutzt wurden, wurde auch die Zusammensetzung der beiden Lieferungen überprüft, denn nur bei konstanter Zusammensetzung können die Ergebnisse aller Analysen miteinander verglichen werden. Dabei stellte sich heraus, daß sich die beiden Lieferungen signifikant in ihrem Sr-Gehalt unterschieden. Zwei Schmelzlinge aus derselben Probe, aber mit Flußmittel aus beiden Lieferungen hergestellt, enthielten 112 ppm bzw. 838 ppm Sr. Aufgrund der Tatsache, daß die Standards mit der älteren Charge hergestellt worden waren, konnten neue Proben nicht mehr auf Sr untersucht werden. Sr erwies sich aber bei den bisher untersuchten Proben als ein wenig aussagekräftiges Element und somit konnte ohne wesentlichen Verlust an Information bei der weiteren Auswertung auf Sr verzichtet werden.

Tabelle 6: Laborvergleich Fribourg(F) - München(M)

[%]	TS-ST		MG20		FT1		AMP188		AMP187		AMP89	
	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M
SiO ₂	65.89	65.70	71.26	71.30	71.99	72.11	66.39	65.64	59.04	56.60	56.14	56.49
TiO ₂	.76	.78	.34	.35	.99	.99	.63	.61	.64	.57	.64	.60
Al ₂ O ₃	17.60	17.90	15.07	14.97	14.15	13.18	15.10	14.99	14.53	13.85	14.96	14.44
Fe ₂ O ₃	4.33	4.36	2.44	2.39	6.17	6.14	5.12	5.08	5.18	4.94	5.13	4.98
MnO	.06	.06	.04	.04	.02	.02	.10	.10	.11	.10	.11	.08
MgO	1.99	1.98	1.18	1.11	1.92	1.92	2.39	2.34	2.91	2.77	3.42	3.19
CaO	6.22	6.33	1.51	1.57	1.03	1.02	7.06	6.96	13.84	13.19	15.54	15.21
Na ₂ O	.68	.62	4.04	3.96	.59	.49	1.29	1.33	1.06	.75	.98	.79
K ₂ O	2.49	2.53	4.72	4.57	2.82	2.78	2.56	2.54	2.51	2.42	2.36	2.27
P ₂ O ₅	.10	.08	.16	.16	.11	.11	.13	.12	.18	.16	.15	.16
[ppm]												
Ba	0.	610.	0.	724.	0.	312.	453.	466.	348.	373.	346.	351.
Cr	0.	184.	0.	38.	0.	137.	105.	92.	102.	88.	94.	87.
Ni	0.	265.	0.	19.	0.	47.	41.	45.	45.	48.	43.	43.
Rb	0.	150.	0.	250.	0.	129.	134.	140.	128.	133.	103.	107.
Sr	0.	151.	0.	250.	0.	79.	0.	321.	307.	376.	0.	388.
Zn	0.	290.	0.	60.	0.	66.	83.	84.	82.	91.	81.	88.
Zr	0.	255.	0.	141.	0.	323.	236.	229.	214.	213.	210.	219.
Nb	0.	18.	0.	8.	0.	21.	22.	22.	20.	19.	18.	22.
Y	0.	24.	0.	14.	0.	26.	32.	33.	31.	33.	29.	29.
V	0.	119.	0.	38.	0.	127.	106.	93.	93.	89.	81.	84.
SUM	100.12	100.55	100.76	100.57	99.79	98.89	100.89	99.86	100.14	95.46	99.56	98.31

Die Na₂O-Konzentrationen sind, wie aus den Elementanalysen im Anhang I hervorgeht, meist kleiner 0.5 %. Das Hauptproblem bei der Na₂O-Analyse besteht darin, daß die Na₂O-Gehalte der Proben für RFA-Messungen mit den benutzten Referenzproben zu niedrig sind. Die absoluten Gehalte liegen, wie schon unter 1) erwähnt, im Bereich der Standardabweichung der Meßgenauigkeit. Somit können die Na₂O-Werte für weitergehende Interpretationen und statistische Auswerteverfahren nicht benutzt werden.

Das größte Problem liegt in der Analyse von SiO₂. Sowohl aus Tabelle 6 wie auch durch Nachmessungen der benutzten Standards (Tab. 4) wird deutlich, daß der absolute Fehler der SiO₂-Messungen in einigen Fällen das vertretbare Maß weit übersteigt. Da die RFA-Anlage bei SiO₂ nur eine relative Standardabweichung von 0.23% bei 20 Mehrfachmessungen aufweist, muß die Ursache der fehlerhaften Ergebnisse anderswo gesucht werden. Auch die Probenaufbereitung (Tab.5) scheidet aus und so kann der Fehler nur bei den zur Verfügung stehenden Referenz-

proben liegen. Diese decken einen großen Bereich an mineralogischer und chemischer Zusammensetzung (Tab.4) ab, was große Probleme bei der Matrixkorrektur mit sich bringt. Die mineralogischen Unterschiede wurden durch das Herstellen von Schmelzlingen weitgehend beseitigt. Es bleiben jedoch die Variationen in der Elementzusammensetzung, die zu Unterschieden im Massenschwächungskoeffizienten führen und starke Abweichungen von einer linearen Abhängigkeit der Zählrate vom SiO_2 -Gehalt bedingen. Diese konnten auch durch das Benutzen von Korrekturfaktoren (theoretische Alphas) nicht beseitigt werden.

Weiter wurden zur Klärung des absoluten Meßfehlers, der sich in den Analysensummen ungleich 100% äußert, 12 synthetische Referenzproben benutzt (Tab.7). Sie wurden aus den reinen Oxiden (p.A. Qualitäten) von TiO_2 , SiO_2 , MgO , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 und auch K_2CO_3 hergestellt. Die bis auf K_2CO_3 bei 1000°C geglähten Substanzen wurden zur RFA-Analyse aufbereitet. Die Zusammensetzungen der synthetischen Standards wurden so gewählt, daß sie den Konzentrationsbereich der untersuchten Keramik umfassen. Da mit ihnen nun Proben mit bekannten absoluten Gehalten zur Verfügung standen, die zudem der Kröninger Irdenware in den Hauptelementen glichen, konnte die absolute Meßgenauigkeit des mit den geochemischen Referenzproben erstellten Meßprogrammes (MGS) getestet werden. Mit den synthetischen Referenzproben wurde ebenfalls ein Meßprogramm (MST) erstellt, mit dem diese dann selbst vermessen wurden. Ein Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Meßprogramme (Tabelle 7) zeigt, daß einerseits das "synthetische" Meßprogramm, wie zu erwarten, eine größere Richtigkeit aufweist. Andererseits lieferte auch das Meßprogramm, das auf den geochemischen internationalen Referenzproben beruht, sehr gute Ergebnisse, so daß man alleine mit den Referenzproben die großen Abweichungen in den Summen nicht erklären kann.

Tabelle 7: Meßergebnisse der synthetischen Referenzproben (SST)

- MGS – Meßprogramm anhand der geochemischen Referenzproben
 MST – Meßprogramm anhand der synthetischen Referenzproben
 – eingewogene Oxidkonzentrationen

		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	TiO_2	MgO	CaO
SST1	MGS	79.90	13.14	5.29	1.89	0.01	-0.02	0.08
	MST	79.89	12.96	5.02	2.00	0.00	0.01	0.00
		80.00	13.00	5.00	2.00	0.00	0.00	0.00
SST2	MGS	73.57	17.78	5.80	1.89	0.53	-0.03	0.08
	MST	74.00	17.96	5.53	2.02	0.52	0.00	0.00
		74.00	18.00	5.50	2.00	0.50	0.00	0.00
SST3	MGS	71.19	19.42	5.20	1.63	1.00	-0.03	0.30
	MST	71.77	19.71	4.95	1.75	1.00	0.01	0.24
		72.00	20.00	5.00	1.75	1.00	0.00	0.25

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	MgO	CaO
SST4	MGS	67.00	24.68	4.82	1.42	1.50	0.22	0.32
	MST	67.56	25.34	4.59	1.52	1.51	0.26	0.26
		67.00	25.00	4.50	1.50	1.50	0.25	0.25
SST5	MGS	62.95	28.45	4.28	1.17	1.51	0.61	0.61
	MST	64.03	29.46	4.09	1.26	1.53	0.65	0.58
		63.00	29.00	4.00	1.25	1.50	0.65	0.60
SST6	MGS	55.62	33.29	3.65	0.92	1.76	1.04	0.62
	MST	56.86	34.68	3.49	1.01	1.79	1.10	0.59
		57.00	35.00	3.50	1.00	1.80	1.10	0.60
SST7	MGS	78.54	13.27	7.35	1.87	0.01	-0.02	0.08
	MST	78.46	13.07	7.03	1.98	0.00	0.01	0.00
		78.00	13.00	7.00	2.00	0.00	0.00	0.00
SST8	MGS	74.10	17.85	2.09	3.31	0.51	0.97	0.96
	MST	74.34	18.03	2.00	3.52	0.51	1.01	1.00
		74.00	18.00	2.00	3.50	0.50	1.00	1.00
SST9	MGS	70.10	19.08	2.58	2.79	1.46	0.44	0.52
	MST	70.48	19.34	2.45	3.03	1.47	0.48	0.50
		72.00	20.00	2.50	3.00	1.50	0.50	0.50
SST10	MGS	66.84	24.55	3.74	1.88	1.53	0.48	0.55
	MST	67.44	25.21	3.55	2.02	1.54	0.51	0.52
		67.00	25.00	3.50	2.00	1.50	0.50	0.50
SST11	MGS	61.25	29.16	4.25	1.39	1.48	0.46	0.54
	MST	62.10	30.14	4.05	1.50	1.50	0.49	0.51
		62.00	30.00	4.00	1.50	1.50	0.50	0.50
SST12	MGS	55.79	33.54	5.29	0.93	1.00	0.46	0.55
	MST	56.88	34.90	5.07	1.01	1.01	0.50	0.51
		57.00	35.00	5.00	1.00	1.00	0.50	0.50

Als Ergebnis der Betrachtungen über die Richtigkeit der durchgeführten Analysen läßt sich zusammenfassen:

- Die starken Abweichungen der Analysensummen von 100% sind nicht geräte-seitig bedingt.
- Das angewandte Aufbereitungsverfahren liefert, falls keine Fehler unterlaufen, gut reproduzierbare Resultate.
- Mit geeigneten Referenzproben, die der untersuchten Keramik stofflich entsprechen, lassen sich bessere, das heißt richtigere Resultate, erzielen.

- d) Die großen Abweichungen von 100% Analysensumme sind nicht auf eine einzige Fehlerquelle zurückzuführen. Es muß deshalb angenommen werden, daß diese Abweichungen als das Zusammentreffen vieler möglicher Fehlerquellen in ungünstiger Zusammensetzung zu betrachten sind.

Wieviele Proben sind zur Beschreibung einer Fundgruppe notwendig?

Um die Zahl der Proben abzuschätzen, die notwendig sind, um eine Fundgruppe durch statistische Parameter wie Mittelwert usw. zu charakterisieren, wurde jeweils die Zahl der untersuchten Proben einer Fundgruppe gegen Mittelwert und Standardabweichung der Meßwerte für Fe_2O_3 und TiO_2 aufgetragen (Abb.16, 17). Aus den Abbildungen wird deutlich, daß man zur Stabilisierung der Werte bei Fe_2O_3 mehr Proben als bei TiO_2 benötigt. Weiter erkennt man, daß etwa 5 Proben das absolute Minimum darstellen. 10 Proben dürften normalerweise ausreichen um statistisch gut abgesicherte Werte zu erreichen und mehr als 20 Proben sind für normale Untersuchungen nicht nötig.

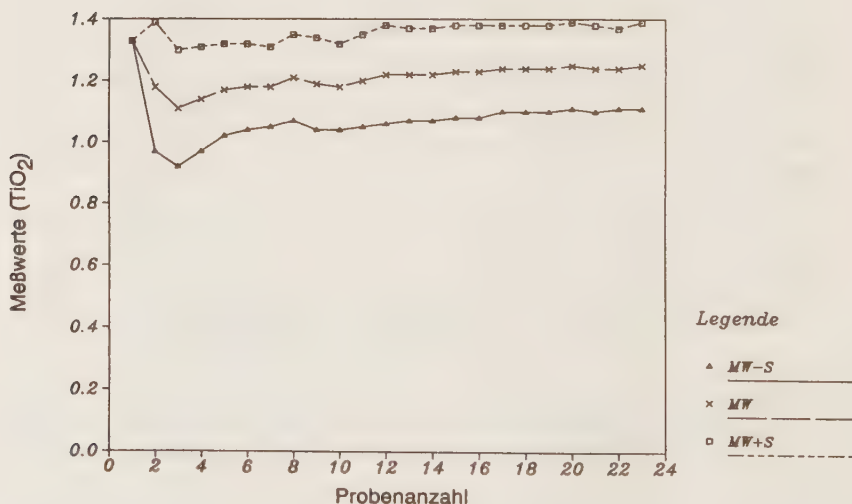


Abb. 16: Probenanzahl gegen Meßwerte

MW - Mittelwert, S - Standardabweichung

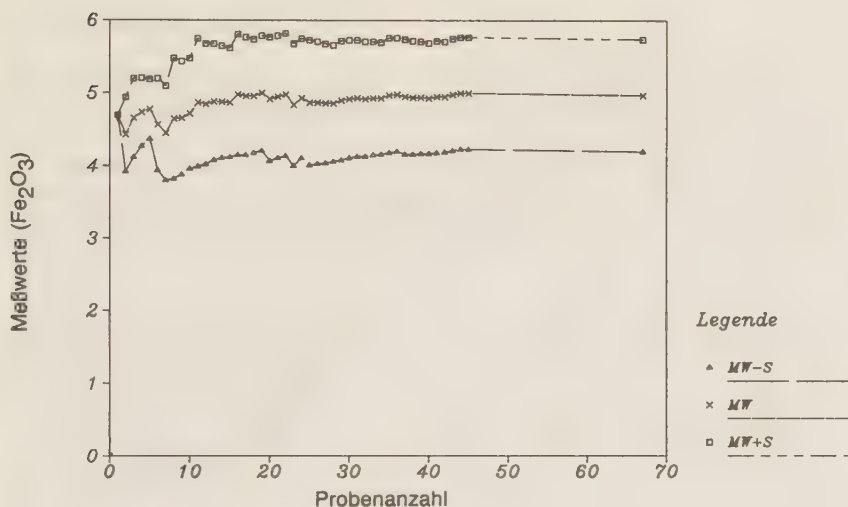


Abb. 17: Probenanzahl gegen Meßwerte
MW - Mittelwert, S - Standardabweichung

Homogenität innerhalb eines Gefäßes

Eine weitere Frage, die bei archäometrischen Arbeiten auftaucht, zielt darauf hin, inwieweit die Einzelanalyse ein vollständiges Gefäß repräsentieren kann (vgl. Maggetti et al. 1981a, 1981b). Sind Aussagen bezüglich einzelner Gefäße sinnvoll oder sind nur Aussagen als Summe von Einzelanalysen im Zusammenhang mit der dazugehörenden Fundgruppe möglich? Dieser Frage nach der Homogenität wurde anhand von vier Proben, die an unterschiedlichen Stellen eines Gefäßes aus der Fundgruppe Jesendorf (Wippenbeck) genommen wurden (Abb.18), nachgegangen. Aus den Elementanalysen (Anhang II) wird ersichtlich, daß zwischen den Proben nur geringe Unterschiede bestehen und somit eine homogene Zusammensetzung angenommen werden kann. Zur Überprüfung dieser Annahme wurde weiter eine Clusteranalyse (siehe Kap. 6.2.2.) aller Proben aus Jesendorf (Wippenbeck) gerechnet. Man erkennt (Abb.19), daß alle vier Proben (J1ST bis J4ST) in einer Gruppe zusammenliegen. Dies bedeutet, daß sie sich am ähnlichsten sind. Es ist also durchaus sinnvoll, die Einzelanalyse als Repräsentant des dazugehörigen Gefäßes anzusehen. Dies gilt für die untersuchte Fundgruppe, damit jedoch nicht unbedingt für alle Fundgruppen.

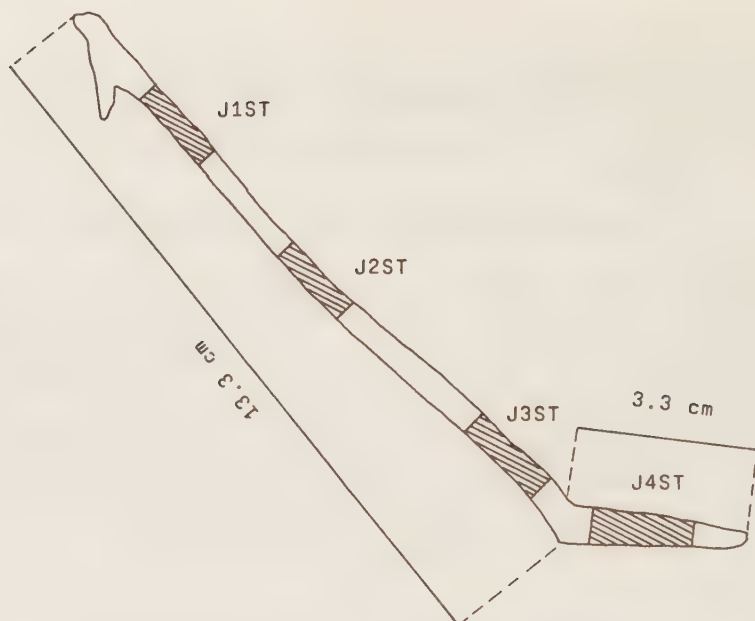


Abb. 18: Skizze des Anschnittes des beprobten Gefäßes aus Jesendorf (Wippenbeck) im Maßstab 1:1

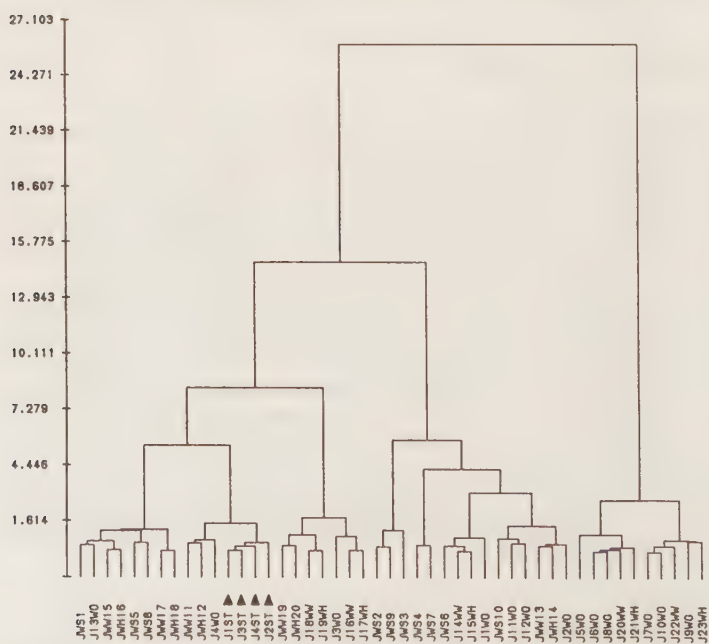


Abb. 19: Clusteranalyse der Fundgruppe Jesendorf (Wippenbeck) nach Ward

5.3. Pulverdiffraktometrie

Die Röntgenbeugungsanalyse mittels Pulverdiffraktometer erlaubt es, kristalline Phasen durch Beugung monochromatischer Röntgenstrahlung am Kristallgitter anhand des Beugungswinkels und der Beugungsintensität der verschiedenen Reflexe zu erkennen (Brindley & Brown 1980). Im allgemeinen liegt dabei die Nachweisgrenze in nicht orientierten Präparaten bei 3–5%. Im vorliegenden Fall dürfte jedoch, bedingt durch die Probenpräparation, speziell für die Schichtsilikate die Nachweisgrenze etwas darunter liegen.

Die Phasenanalyse durch Röntgenbeugung mit einem Pulverdiffraktometer (Philips – Pulverdiffraktometer mit Cu – Röhre, Winkelbereich von $5 - 60^\circ 2\theta$) hat das Ziel, einerseits den Phasenbestand im keramischen Scherben der Kröninger Irdenware und in den Tonproben zu erfassen und andererseits mit Hilfe von Brennversuchen die Brenntemperatur der Keramik abzuschätzen (siehe Kap.8.).

Bei der Präparateherstellung wurde das feingemahlene Probenpulver mit einem Glasblättchen in eine 1.1×1.9 cm große Aussparung des Probenträgers gedrückt. So wurde jeweils die gleiche Probenmenge mit etwa gleicher Oberfläche in den Strahlengang gebracht. Durch das Hineindrücken des Pulvers werden die Schichtsilikate mit der Schichtebene senkrecht zum Druck ausgerichtet und man erhält ein orientiertes Präparat. Einige Präparate wurden zusätzlich zum Erkennen von Tonmineralien wie Montmorillonit mit Ethylenglykol behandelt und 1 Stunde bei 550°C erhitzt (Brindley & Brown 1980).

Im einzelnen wurden folgende kristalline Phasen nachgewiesen:

- **Alpha – Quarz**, SiO_2 : Er ist leicht an seinen ersten Reflexen bei 4.26, 3.34, 2.46 und $2.28 \text{ \AA}$ zu erkennen. Da er in allen Proben als Hauptbestandteil vorhanden ist, konnte er als interner Standard zur Winkelüberprüfung benutzt werden.
- **Plagioklas**, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$: Seine Identifikation weist durch die Überlagerung der Reflexe mit den anderer Mineralien gelegentlich Probleme auf. Zwei Reflexe im Bereich von $3.22 - 3.18 \text{ \AA}$ und ein Reflex im Bereich von $3.03 - 3.04 \text{ \AA}$ erlauben seine Identifikation. Da der Reflex bei $3.20 \text{ \AA}$ auch auf die (114) – Interferenz des Muskovits zurückgeführt werden kann, wird auch die (201) – Linie bei $d = 4.04 \text{ \AA}$ herangezogen.
- **Alkalifeldspäte**, KAlSi_3O_8 – $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$: Die einzelnen Phasen sind schwer zu bestimmen. Sie sind jedoch gut von den Plagioklasen durch den Reflex bei $4.22 \text{ \AA}$ und den Reflex im Bereich von $3.23 - 3.31 \text{ \AA}$ zu unterscheiden.
- **Muskovit/Illit**, $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$: Erkennbar an den Basisreflexen bei etwa $10 \text{ \AA}$ und $5 \text{ \AA}$ und dem Reflex bei $4.5 \text{ \AA}$.
- **Calcit**, CaCO_3 : Er ist am Reflex bei $3.03 \text{ \AA}$ zu erkennen und tritt in den kalkreichen Tönen auf.

- **Dolomit**, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$: Sein Hauptreflex liegt bei 2.89 Å und tritt häufig zusammen mit Calcit auf.
- **Kaolinit**, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$: Charakteristisch sind die beiden Hauptreflexe bei 7.18 Å und 3.58 Å. Durch Erhitzen der Probe auf über 550°C ist er meist auch bei Anwesenheit von Chlorit nachzuweisen.
- **Montmorillonit** (Mixed Layer Minerale): Charakteristisch ist eine Verschiebung der 17Å Reflexe der glykolierten Probe beim Erhitzen. (Bindley & Brown 1980)
- **Chlorit**, $(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$: Verstärkung des 14Å Reflexes beim Erhitzen auf 550°C. Zur Unterscheidung von Kaolinit trägt auch der Reflex bei 4.73 Å bei. Weiter liegen bei den Kröninger Tonen seine (001)- und (004)-Reflexe im Vergleich mit Kaolinit bei höheren Winkeln.
- **Spinell** : Dabei kann es sich einmal um einen Hercynit (FeAl_2O_4) handeln, der seinen Hauptreflex bei etwa 2.44 – 2.45 Å hat und an der Erhöhung der Intensität des (110)-Reflexes des Quarzes im Vergleich mit der des (102)-Reflexes erkannt werden kann. Magnetit (Fe_3O_4) ist ebenso wie der Hercynit meist in reduzierend gebrannter Ware anzutreffen und besitzt seinen Hauptreflex bei 2.53 Å.
- **Cristobalit**, SiO_2 : Er ist anhand seiner stärksten Reflexe bei 4.15 Å und 2.53 Å zu identifizieren.
- **Amorphe Phasen** : Sie sind meist an einer Erhöhung des Untergrundes im Bereich von 15 – 35° 2θ zu erkennen. Eisen in seinen Verbindungen erhöht dagegen den Untergrund von 20 – 60° 2θ gleichmäßig.

5.4. Mikroskopie

Die mikroskopischen Untersuchungen mit dem Polarisationsmikroskop stellen eine Ergänzung zur Phasenbestimmung mit dem Röntgenpulverdiffraktometer dar. Der Vorteil der Mikroskopie liegt darin, daß man mit ihr auch Phasen bestimmen kann, die in Spuren vorliegen, wie z.B. Zirkon und Hornblende. Des weiteren gibt sie einen Einblick in das Gefüge der Keramik, die Porenform, die Porengröße und die Porenverteilung. Weitere Vorzüge liegen im Erkennen von retrograden Mineralneubildungen (z.B. Calcit, Maggetti (1986), Sintervorgängen usw.).

Mit Hilfe des Pointcounters (Swift Automatic Point Counter Model F 415C, Prior Scientific Instruments Ltd.) wurde an einigen Dünnschliffen der Phasenbestand gemessen. Durch Bestimmen der Größe von Magerungskörnern wurde ein Maß für die Feinheit der Magerung gefunden, das Rückschlüsse auf die Arbeitsstone der Kröninger Hafner zuläßt.

6. Statistische Methoden

Bei archäometrischen Untersuchungen auf der Grundlage von Haupt- und Spurenelementchemie finden vor allem statistische Auswerteverfahren zur Charakterisierung und Diskriminierung von Probengruppen und Klassifizierung von Einzelproben Anwendung.

Die statistischen Berechnungen wie auch die graphische Darstellung anhand von Variationsdiagrammen wurden mit den Programmpaketen SPSS, CHARTS und CLUSTAN am Leibnitz Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften durchgeführt.

6.1. Univariate Statistik

Wie auch bei den meisten multivariaten Methoden, die in Kapitel 6.2. behandelt werden, ist es zur Berechnung der univariaten statistischen Kenngrößen wie Mittelwert und Standardabweichung wichtig, den Verteilungstyp (z.B. Lognormalverteilung) der Meßwerte der einzelnen Variablen zu kennen. Die statistischen Kenngrößen sind im Zusammenhang mit einem bestimmten Verteilungstyp definiert und müssen deshalb für verschiedene Verteilungen auch unterschiedlich berechnet werden.

Die bei Haupt- und Spurenelementen häufigsten Verteilungen sind die Gauß-Normalverteilung und die logarithmische Galton-Normalverteilung (Lognormalverteilung). Die Gauß-Normalverteilung besitzt die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

$$f(x) = (1/(\sigma \cdot \sqrt{2\pi})) \cdot \exp(-0.5 ((x-\mu)/\sigma)^2)$$

mit μ = Mittelwert
 σ = Standardabweichung
 x = Stichprobe

Da die Gauß-Normalverteilung symmetrisch ist, hat sie besonders einfache Kenngrößen:

arithmetrischer Mittelwert	$\mu = 1/n \cdot \sum x_i$
Varianz	$\sigma^2 = 1/n \cdot \sum (x_i - \mu)^2$
Stichprobenvarianz	$s^2 = (1/(n-1)) \cdot \sum (x_i - \bar{x})^2$

Die Gauß-Normalverteilung kann überall dort als Verteilungsmodell angenommen werden, wo die mittleren Werte einer Stichprobe zugleich die häufigsten und somit die wahrscheinlichsten sind. Mathematische Verfahren zur Überprüfung einer Normalverteilungshypothese sind im univariaten Fall der Kolmogorov-Smirnov Test, der Chi-Quadrat-Anpassungstest, sowie Tests, die die Schiefe und Wölbung der Stichprobenverteilung verwenden (z.B. SPSS CONDESCRIPTIVE). Schiefe Abweichungen von der Normalverteilung sind nicht selten ein Stichpro-

benefekt und verschwinden bei der Erhöhung des Stichprobenumfangs. Demgegenüber sind schiefe Verteilungen häufig ein signifikantes Stichprobenmerkmal. Insbesondere, wenn die Merkmale der zu untersuchenden Stichprobe einen unteren Grenzwert im beobachteten Wertebereich besitzen, muß mit der Möglichkeit einer positiv schiefen Verteilung gerechnet werden. Verläuft die betreffende Verteilung zudem eingipfelig, kann die logarithmische Normalverteilung ein geeignetes Verteilungsmodell sein.

Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion dafür lautet:

$$f(x) = (1/(x \cdot \sigma_1 \cdot \sqrt{2\pi})) \cdot \exp(-1/2 ((\ln x - \mu_1)/\sigma_1)^2) \quad \text{für } x > 0$$

Die Kenngrößen der Lognormalverteilung sind

Mittelwert	$\mu_1 = \exp(\mu + \sigma^2/2)$
Varianz	$\sigma_1^2 = \exp(2\mu + \sigma^2(e^{\sigma^2} - 1))$

Wird eine Lognormalverteilung angenommen, so ist es empfehlenswert, die Meßwerte zu logarithmieren und aus diesen transformierten Daten Mittelwert und Standardabweichung zu berechnen. Eine Rücktransformation liefert wieder Werte in der ursprünglichen Skalierung.

Die Verteilung der Elemente in Mineralien und Gesteinen (tonkeramische Produkte können als thermometamorphe künstliche Gesteine angesehen werden) wird in verschiedenen Arbeiten diskutiert. **Ahrens** (1954a,b) formuliert die Lognormalverteilung der Elemente als das "Grundgesetz der Geochemie". In der Regel besteht auch eine Abhängigkeit von der Konzentrationsspanne (**Schroll** 1975), die von den verschiedenen Elementen eingenommen wird. Bei geringen Konzentrationsspannen tritt oft eine Gauß-Normalverteilung, bei großen eine Lognormalverteilung auf. **Vistelius** (1967) stellt fest, daß das Ahrens'sche Grundgesetz nur für reine Gesamtheiten, d.h. lokale Proben einfacher Genese gilt. Nach **Rodinov** (1964) stellt die Häufigkeitsverteilung eines Elementes im Einzelmineral die Grundlage für die Häufigkeitsverteilung des Elementes im Gestein dar. Er postuliert die Häufigkeitsverteilung im Mineral als stets lognormal. Nur dann, wenn dasselbe Mineral in mehreren Generationen auftritt oder das Element in verschiedenen Mineralphasen gebunden ist, können sich die Lognormalverteilungen zu einer Normalverteilung überlagern.

6.2. Multivariate statistische Verfahren

Die multivariaten statistischen Verfahren untersuchen Stichproben, die mit mehr als zwei Merkmalen (Elemente) in die Analyse eingehen. Zusammenhänge zwischen den Variablen untersuchen die kanonische Korrelations-, die multivariate Regressions-, die Hauptkomponenten- und die Faktorenanalyse, während die Varianz-, Kovarianz-, Diskriminanz- und Clusteranalyse dazu dienen, die Unterschiedlichkeit von Stichproben zu beurteilen.

Einige grundsätzliche Bemerkungen zur Variablenauswahl und zu den Anforderungen der statistischen Programme an die Rohdaten seien vorausgeschickt:

- Die meisten multivariaten statistischen Verfahren basieren auf der Annahme,

daß die Variablen (z.B. die gemessenen Elemente) einer multivariaten Normalverteilung unterliegen. Deshalb muß zu Beginn einer Analyse zunächst einmal untersucht werden, welcher Verteilungstyp die Streuung der Variablen am besten repräsentiert. Falls keine Aussage über die Variablen getroffen werden kann, sollten parameterfreie Verfahren in Betracht gezogen werden (**Fatti et al.** 1982). Voraussetzung für eine multivariate Normalverteilung ist eine Normalverteilung der einzelnen Variablen. Da die Haupt- und Spurenelemente im allgemeinen eine Verteilung zeigen, die ohne Schwierigkeiten in eine Normalverteilung transformiert werden kann, können die meisten verfügbaren Programme zur Datenanalyse herangezogen werden. Testverfahren für die multivariate Normalverteilung findet man bei **Malkovich & Afifi** (1973) und **Mardia et al.** (1979).

- Sind die Daten multivariat normalverteilt, so ist zu entscheiden, ob die Daten standardisiert werden sollen, d.h. sollen die Rohdaten durch standardisierte Daten mit Mittelwert Null und Varianz 1 ersetzt werden. Diese Standardisierung, auch Z-Transformation genannt, erfolgt nach

$$Z = (x - \bar{x}) / S$$

mit x - Meßwert, $\bar{x}$ - Mittelwert, S - Standardabweichung

Die Bedeutung der Standardisierung liegt in der Tatsache, daß bei der Bildung von Gruppen (z.B. bei der Diskriminanzanalyse) alle Variablen a priori mit dem gleichen Gewicht eingehen. Haben die Variablen das gleiche Gewicht, so wird das Ergebnis von den Variablen maßgeblich bestimmt, die die größten Werte annehmen. Während die meisten Programmpakete zur Klassifikation und Diskriminanzanalyse (z.B. SPSS) die Daten automatisch standardisieren, ist dies bei vielen Clusteranalyseprogrammen nicht der Fall. **Vitali** (1986) schlägt deshalb vor, die Rohdaten vor der Analyse zu standardisieren, falls sie eine Normalverteilung aufweisen. Werden die Rohdaten jedoch schon vorher log-transformiert, um eine Normalverteilung zu erreichen, sollten die Werte nicht mehr standardisiert werden (**Pollard** 1982). **Wolff** (1986) benutzt zur Clusteranalyse sogenannte L-Werte, die er ähnlich den Z-Werten bei der Normalverteilung aus den log-transformierten Werten berechnet.

$$L_{ij} = (\log x_{ij} - \log \bar{x}_i) / (\sigma(\log x_i))$$

- Bei der Auswahl der in die Analyse einzubeziehenden unabhängigen Variablen ist weiter darauf zu achten, daß diese keine hohen Korrelationen untereinander aufweisen. Der Gebrauch von korrelierten Variablen macht die Verfahren weniger effektiv und kann eine Verzerrung, speziell eine Verstärkung der Unterschiede zwischen den verschiedenen Probengruppen zur Folge haben. Nach **Beutel et al.** (1980) können bei kollinearen Variablen die Diskriminanzfunktionen nicht oder nur fehlerhaft bestimmt werden. Ist eine hohe Korrelation erkannt (Spearman'scher Korrelationskoeffizient), so sollte der Ausschluß einiger dieser Elemente vor der Analyse oder alternativ, die Gruppierung der Elemente in unabhängige Faktoren anhand einer Hauptkomponentenanalyse in Betracht gezogen werden.

Unter einer **Hauptkomponentenanalyse** ist folgendes zu verstehen (**Morrison** (1976)): Jede Probe wird als ein Punkt in einem n -dimensionalen Raum angesehen, wobei n die Anzahl der gemessenen Variablen ist. Die Achsen dieses Raumes werden jetzt derart rotiert, daß die Varianz der Gesamtprobe in Richtung der 1. Komponente maximal wird. Die zweite Komponente wird senkrecht zur 1. so konstruiert, daß ein Maximum der Restvarianz erreicht wird. Auf die gleiche Weise erhält man orthogonale Vektoren, die allgemein ausgedrückt, gewichtete Linearkombinationen der Originalachsen darstellen. Dieses Vorgehen hat zwei Ziele: Die Orthogonalität der Hauptkomponenten beseitigt jede Korrelation, die zwischen den ursprünglichen Achsen bestanden hat. Zweitens können die Meßdaten jetzt gut als Variationsdiagramm von Hauptkomponenten dargestellt werden, wobei gilt: je höher die kumulative Varianz der beiden gegeneinander aufgetragenen Komponenten, desto besser repräsentieren sie die Gesamtprobe.

Diese Überprüfung ist empfehlenswert, obwohl die Diskriminanzanalyse relativ robust gegenüber Korrelationen ist (**Pollard** 1982, **Fatti et al.** 1982).

- Handelt es sich um eine Klassifizierung in bereits bestehende Gruppen, setzen die multivariaten Verfahren gleiche Varianz-Kovarianz Matrizen innerhalb der Gruppen voraus (Homoscedaticität). Auch hier tolerieren einige statistische Verfahren wie z.B. die lineare Diskriminanzanalyse gewisse Abweichungen. Dennoch sollte diese Bedingung überprüft werden. Ist jedoch die Abweichung beträchtlich, sollten Transformationen, die die Gruppenvarianzen stabilisieren, wie von **Leach & Manly** (1982) vorgeschlagen, durchgeführt werden. Alternativ dazu stehen auch Programme zur Verfügung, die für heteroscedatische Daten geschrieben wurden (z. B. die quadratische Diskriminanzanalyse). Anhand eines F -Testes (Box'M - vgl. **Cooley & Lohnes** 1971) überprüft das SPSS Programm DISCRIMINANT für die diskriminierenden Variablen die Kovarianzmatrizen auf Gleichheit.

6.2.1. Die Diskriminanzanalyse

Sie stellt ein multivariates statistisches Verfahren dar, mit dem die Werte einer nominal skalierten (abhängigen) Variablen durch die Werte zweier oder mehrerer metrisch skalierten (unabhängigen) Variablen erklärt bzw. prognostiziert werden können (**Schuchardt - Fischer et al.** 1982). Die Bezeichnung Diskriminanzanalyse macht deutlich, daß es sich hierbei um ein Verfahren zur Bestimmung und Klassifizierung einer Menge von Objekten (Proben) und deren Zuordnung zu einer vorgegebenen Teilmenge einer Grundgesamtheit handelt, deren Unterschiede durch die unabhängigen Variablen erklärt werden.

Folgende Fragestellungen lassen sich mit der Diskriminanzanalyse beantworten:

- 1) Besteht zwischen zwei oder mehreren vorgegebenen Gruppen ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Gesamtstruktur mehrerer unabhängiger Variablen? Dabei dürfen nur solche Merkmale zugrunde gelegt werden, die nicht bereits zur Bildung der Gruppen herangezogen wurden.
- 2) Welche Kombination von Merkmalen ermöglicht die bestmögliche Trennung der vorgegebenen Gruppen?

- 3) Welche relative Bedeutung kommt einzelnen Merkmalen bei der Unterscheidung der Gruppen zu?
- 4) Welcher der bereits unterschiedenen Gruppen sind neue Objekte (Proben) aufgrund ihrer Merkmalsstruktur zuzuordnen?

Die Diskriminanzanalyse geht von a priori definierten Gruppen aus und trennt diese anhand der Gesamtheit der berücksichtigten unabhängigen Variablen bestmöglich. Es wird diejenige Linearkombination von Variablen gesucht, die die Gruppenunterschiede am besten zum Ausdruck bringt. Die maximale Anzahl der Diskriminanzfunktionen ist das Minimum der um eins verminderten Anzahl der Gruppen und der Anzahl der unabhängigen Variablen. Es gibt zwei grundsätzliche Ansätze zur Berechnung der Diskriminanzfunktionen. Bei der direkten, simultanen Methode werden alle Variablen gleichzeitig in die Analyse mit einbezogen. Sie ist vorzuziehen, wenn das Ziel der Analyse eine Klassifikation von Objekten ist. Ist das Ziel der Analyse jedoch eine Diskriminierung, dann sind die schrittweise vorgehenden Methoden effizienter. Bei den schrittweise vorgehenden Methoden werden nach bestimmten Kriterien die Variablen, die die beste Gruppentrennung ermöglichen, nacheinander ausgewählt. Bereits in die Analyse einbezogene Variablen können dabei wieder ausgeschlossen werden, wenn der Trennbeitrag dieser Variablen durch später hinzugekommene Variablen verschlechtert wird. Von den vom SPSS-Programm DISCRIMINANT zur Verfügung gestellten Methoden wurde die schrittweise Methode zusammen mit der Mahalanobis Distanz D^2 benutzt. Die Mahalanobisdistanz D^2 maximiert das allgemeine Distanzmaß D zwischen den Gruppen, die am nächsten zusammenliegen. Die Mahalanobisdistanz ist skaleninvariant und Merkmalskorrelationen haben keinen Einfluß.

Die Bestimmung der Diskriminanzkoeffizienten der Diskriminanzfunktionen ist gleichbedeutend mit der Berechnung von Eigenwerten bzw. Eigenvektoren der Matrix. Große Eigenwerte deuten dabei auf relativ homogene und voneinander deutlich getrennte Gruppen hin. Wird ein einzelner Eigenwert als Prozentanteil der Summe der Eigenwerte angegeben, so ist er ein einfaches Maß für die relative Bedeutung der dazugehörigen Diskriminanzfunktion. Soll die relative Bedeutung der einzelnen Merkmale (Variablen) bezogen auf alle Funktionen (und damit auf die Trennung aller Gruppen) ermittelt werden, so sind die standardisierten Diskriminanzkoeffizienten der einzelnen Merkmale entsprechend der relativen Diskriminanzkraft der einzelnen Funktionen zu gewichten, d.h. mit dem relativen Eigenwertanteil der Funktionen zu multiplizieren.

Die Durchführung einer stufenweisen Diskriminanzanalyse bietet sich vor allem dann an, wenn zunächst nur wenige Hinweise darauf gegeben sind, welche Merkmale zur Unterscheidung der vorgegebenen Gruppen heranzuziehen sind.

6.2.2 Die Clusteranalyse

Die Clusteranalyse umfaßt eine Reihe von Rechenverfahren, die alle das Ziel haben "natürliche" Gruppierungen oder Cluster in den Daten zu lokalisieren. Neben den partitionierenden Verfahren sind die hierarchischen Verfahren die wichtigsten und weitverbreitetsten Verfahren zur Gruppenbildung, da sie sehr feine Strukturen in einer Objektmenge sichtbar machen, sehr übersichtlich und damit gut interpretierbar sind (**Hartung & Elpelt** 1986). Die Konstruktion einer Hierarchie kann mit divisiven und agglomerativen Algorithmen erfolgen. Ein divisiver Algorithmus betrachtet anfangs alle Daten als eine einzige Gruppe, die er dann kontinuierlich nach einem speziellen Kriterium unterteilt, bis eine Gruppe nur noch aus einem Objekt besteht. Die divisiven Methoden werden jedoch nur selten benutzt, da sie zu viel Rechenzeit beanspruchen. In archäometrischen Arbeiten (**Jornet** 1985, **Maggetti** 1986a/b, **Pollard et al.** 1986, **Topping et al.** 1988) werden hauptsächlich die agglomerativen hierarchischen Methoden angewandt. Sie beginnen mit jeder einzelnen Probe als einer Gruppe und schließen die ähnlichsten Gruppen zusammen, bis am Ende alle Proben eine einzige Gruppe bilden.

Die Clusteranalyse mit einem agglomerativen Verfahren hat etwa folgenden Ablauf:

- a) Man beginnt mit der feinsten Partition, d.h. jede Probe stellt eine Gruppe dar.
- b) Man wählt ein geeignetes Distanzmaß und berechnet für alle Proben die Distanz im n -dimensionalen Hyperraum mit n gleich der Anzahl der in der Untersuchung benutzten Variablen und erhält so die erste Distanzmatrix.
- c) Es werden die beiden Gruppen mit der geringsten Distanz, d.h. mit der größten Ähnlichkeit zu einem neuen Cluster zusammengefaßt, dabei nimmt die Zahl der Gruppen um 1 ab.
- d) Man wählt ein geeignetes Verfahren (siehe dazu 6.2.2.1) aus und berechnet damit die Abstände zwischen allen Gruppen und erhält die neue Distanzmatrix.

Es folgt Punkt c).

- e) Die Clusteranalyse endet, wenn alle Proben in einer Gruppe (Cluster) vereinigt sind.

In den Programmpaketen zur Clusteranalyse werden dem Bearbeiter eine Vielzahl von Ähnlichkeitsmaßen zur Auswahl gestellt. Unter den bekannten Ähnlichkeitsmaßen wie der Quadrierte Euklidische Abstand, der Euklidische Abstand, der Cosinus-Theta Koeffizient, die Chebychev Metrik, die City-Block oder Manhattan Distanz, die Potenz Metrik, wurde der Quadrierte Euklidische Abstand gewählt (vgl. **Vitali** 1986) mit

$$\text{Abstand}(x,y) = d(x_i - y_j)^2$$

"Linkage" Verfahren

Als eine Auswahl der gebräuchlichsten hierarchischen agglomerativen Verfahren soll im folgenden näher auf drei Linkage – Verfahren eingegangen werden, die von den meisten Programmpaketen (z.B. CLUSTAN, SPSSPC⁺) zur Verfügung gestellt werden und in dieser Arbeit zur Anwendung kommen.

- 1) **Single linkage** (nearest neighbour) : Die Distanz zwischen zwei Clustern ist die kleinste, die zwischen den Einzelobjekten beider Cluster auftritt.

$$d_{x,y} = \min (dx_i, y_i)$$

Das Verfahren neigt dazu, die einzelnen Objekte aneinanderzureihen ("chaining"). Schlecht getrennte Cluster werden nicht entdeckt.

- 2) **Average linkage** :(equivalent zur "unweighted pair – group" (UPGMA) Methode von **Sokal & Michener** (1958)). Die Distanz zwischen zwei Clustern ist der Mittelwert aller Paare von Distanzen, die zwischen beiden Clustern auftreten , d.h. die Distanz der Mittelwerte der Gruppen. Diese Methode hat die Eigenschaft, daß sie alle Objekte einer Gruppe berücksichtigt, nicht jedoch die Gruppengröße.

$$d_{x,y} = \overline{dx_i, y_i}$$

- 3) **Wards' Methode** : Es werden die Gruppen zu einem neuen Cluster zusammengefaßt, die ein Minimum der quadratischen Summe der Abweichungen jedes Punktes vom Mittelwert des Clusters (error sum of squares = ESS) ergeben. **Ward** (1963) zeigte, daß bei jedem Analysenschritt der Informationsverlust, der aus der Zusammenfassung von Gruppen zu neuen Clustern resultiert, durch den ESS berechnet werden kann. Bei jedem Analysenschritt wird jede Kombination von möglichen Clusterpaaren betrachtet und die Cluster, die ein minimales Anwachsen des ESS ergeben, werden kombiniert. Sie ist möglicherweise die beste hierarchische Methode (**Nie** 1980).

Der Nachteil der meisten agglomerativen hierarchischen Verfahren liegt darin, daß einmal eingegangene Gruppierungen nicht wieder gelöst werden können. Partitionierende Verfahren (z.B. RELOCATE bei CLUSTAN) hingegen erlauben eine Neuordnung der Gruppen bei jedem Schritt. Eine Kombination beider Verfahren ergibt die beste Lösung. Eine graphische Darstellung der eventuellen neuen Cluster ist jedoch nicht möglich.

Der Vorteil der agglomerativen Verfahren liegt, wie schon erwähnt, darin, daß das Ergebnis graphisch in Form eines Dendrogrammes dargestellt werden kann. Die einzelnen Proben gruppieren sich dabei entlang der Basislinie. Mit anwachsendem Wert des Ähnlichkeitsmaßes (Distanz), das auf der Ordinate aufgetragen wird, werden die Proben über "Brücken" miteinander zu Gruppen verbunden. Das Ähnlichkeitsmaß stellt ein Maß für die Homogenität eines Clusters dar, d.h. je kleiner der Wert umso ähnlicher sind sich die Gruppen.

7. Brennversuche

Nachbrände und Brennreihen an mutmaßlichen Töpfer-tonen werden zur Abschätzung von Brenntemperaturen und Brenntechnologie in vielen Arbeiten beschrieben (z.B. **Peters & Jenni** (1973), **Heimann** (1978), **Heimann et al.** (1980), **Letsch** (1982, 1983), **Maniatis et al.** (1983), **Klenk** (1987)). Dabei wird wegen der einfacheren Versuchsdurchführung meist in oxidierender Atmosphäre gearbeitet. Nur wenige Arbeiten behandeln bisher die Phasenumwandlungen und Veränderungen im keramischen Scherben in reduzierender Atmosphäre.

Die Arbeit von **Heimann, Maggetti & Einfalt** (1980) untersucht das Brennverhalten eines kalkreichen, illitischen Tones bei unterschiedlichen reduzierenden Bedingungen mit drei verschiedenen Feststoffpuffern bei Brenntemperaturen von 850, 950 und 1050°C. Diese Brennbedingungen in auf 10^{-1} Torr evakuierten Quarzampullen, d.h. in geschlossenen Systemen, unterscheiden sich wesentlich von jenen natürlicher Systeme, unter denen normalerweise Hafner arbeiten. Ihre Ergebnisse sind deshalb nur mit Einschränkungen auf handwerklich erzeugte Keramik anzuwenden. **Letsch** (1982) arbeitete dagegen in offenen Systemen unter den Bedingungen des Boudouard'schen Gleichgewichtes im Temperaturbereich von 600 – 1000°C. Er untersuchte die Phasenumwandlungen eines ebenfalls kalkhaltigen illitischen und chloritischen Tones, dem unterschiedliche Mengen an Mn_2O_3 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 und CaO zugesetzt wurden, um auch die Veränderungen in keramischen Überzügen und Bema-lungen zu erfassen. **Maniatis et al.** (1983) konzentrierte sich bei seinen Untersuchungen unter reduzierenden Bedingungen an illitischen, chloritischen, kalkarmen und kalkreichen Tönen auf die Rolle des Ca unter besonderer Berücksichtigung der Fe – Oxide.

Tone, die mit den Kröninger Tönen vergleichbar sind, d.h. kalkarme illitisch – chloritische wie auch kaolinitische Tone, wurden bisher kaum unter reduzierenden Bedingungen untersucht. Ein Grund dafür mag darin liegen, daß aufgrund der Ca – Armut keine wesentlichen Phasenumwandlungen unter 1000°C zu erwarten sind und somit die Aussagekraft solcher Untersuchungen relativ gering wäre. Um diese Lücke zu schließen, in der ein Großteil der Kröninger Irdenware liegt, wurden eigene Brennversuche an ausgewählten Kröninger Tönen durchgeführt. Zudem sollte auch der Temperaturbereich von 450 bis 600°C, den alle oben angeführten Untersuchungen nicht abdecken, erfaßt werden. Dies ist insofern von Bedeutung, als in einigen archäometrischen Arbeiten (vgl. **Okrusch et al.** (1985), **Nungässer et al.** (1985)) beim Fehlen von bei höheren Temperaturen instabilen Phasen wie Kaolinit und Chlorit auf eine Mindestbrenntemperatur von 500 bis 600°C allein durch Vergleich mit Literaturwerten (**Salmang & Scholze** (1983), **Brindley & Brown** 1980) geschlossen wird.

Die Brennversuche mit Kröninger Tönen haben das Ziel, die Brenntemperaturen der oxidierend wie auch reduzierend gebrannten Kröninger Irdenware grob abzuschätzen. Als eine von vielen Möglichkeiten (**Heimann** 1978) wurde dies durch Bestimmen des Phasenbestandes von Brennreihen (vgl. **Maggetti** 1982) versucht. Dazu wurden die Tone T9638 und T9646 der Grube Großbettenrain oxidierend wie auch reduzierend gebrannt. Diese Tone wurden ausgewählt, da sie als Ver-

treter der beiden Hauptgruppen der Kröninger Irdenware gelten können (vgl. Kapitel 8). Der Ton T9638 steht dabei für einen blauen, eisenreichen, illitischen Ton und der Ton T9646 für einen violetten, kaolinitischen, eisenärmeren Ton.

Zur Durchführung der Brennversuche wurden die Tone wie folgt bearbeitet:

Mit Wasser angemacht, wurde der Ton zunächst zu etwa 40x25x5 mm großen Probekörpern geformt. Diese wurden zwei Tage an der Luft und dann 12 Stunden im Trockenschrank bei 105°C getrocknet. Die Probekörper wurden im Temperaturbereich von 450 bis 1000°C in 50° Schritten oxidierend (d.h. in einem offenen Porzellantiegel im Elektroofen) und reduzierend (d.h. in einem Porzellantiegel, der zum Teil mit Holzkohle gefüllt und mit einem Deckel verschlossen war) gebrannt. Beginnend bei 200°C wurde mit ca. 300 °/Stunde aufgeheizt. Die Proben wurden 12 Stunden bei der Endtemperatur gehalten und langsam abgekühlt. Die so erhaltenen gebrannten Tonproben wurden anschließend phasenanalytisch mit dem Mikroskop und durch Röntgenbeugung mit dem Pulverdiffraktometer untersucht.

Aufgrund der unterschiedlichen Mineralogie der untersuchten Tone war ein unterschiedliches Brennverhalten zu erwarten. Eine durch Wägung leicht zu bestimmende Meßgröße stellt der Glühverlust dar, der in Abbildung 20 gegen die Brenntemperatur aufgetragen ist. Es werden deutliche Unterschiede zwischen den beiden benutzten Tönen, wie auch zwischen oxidierender und reduzierender Brennführung sichtbar. Die Differenz im Glühverlust der Tonproben T9638 und T9646 beträgt etwa 2% absolut. Sie liegt darin begründet, daß es sich beim Ton T9646 um einen mehr kaolinitischen Ton handelt, während der Ton T9638 eine hohe Illit-Komponente bei höherem Quarzgehalt aufweist. Die Unterschiede im Glühverlust beim oxidierenden und reduzierenden Brand sind auf die Oxidation bzw. Reduktion hauptsächlich des Eisens zurückzuführen, das in beiden Tönen in unterschiedlichen Konzentrationen (T9638 : 5.25% , T9646 : 3.97%) vorliegt.

Weit gravierender als das unterschiedliche Verhalten der beiden Tone im absoluten Glühverlust bei oxidierendem und reduzierendem Brand ist die stark unterschiedliche Entwicklung der Glühverluste im reduzierenden gegenüber der im oxidierenden Brand bei Temperaturen kleiner etwa 600°C. Beträgt z.B. der Glühverlust von Ton T9646 in oxidierendem Brand bei 500°C bereits über 11% (Abb. 20), so erreicht er in reduzierender Atmosphäre nicht einmal 6%. Erst ab 600°C erreichen die Glühverluste bei Vernachlässigung der Oxidation oder Reduktion des Eisens annähernd die gleichen Werte. Der Grund für diese Unterschiede im Glühverlust bei niedrigen Temperaturen scheint im Kaolinitgehalt (bzw. Chloritgehalt) der verschiedenen Tonproben zu liegen, da zum einen die größten Unterschiede beim kaolinitreichen T9646 auftreten und zum anderen die starke Zunahme des Glühverlusts mit dem Verschwinden des Kaolinit direkt zusammenhängt (Abb.23 und 25). Die niedrigen Glühverluste treten nur in reduzierender Atmosphäre auf. Deshalb muß eine Verbindung zwischen der Stabilität des Kaolinit (bzw. Chlorit) und der Sauerstoffugazität bestehen. Der Zerfall des Kaolinit (Chlorit) wird durch die geringere Sauerstoffugazität um etwa 100° zu höheren Temperaturen hin verschoben. Die Zusammensetzung der Ofenatmosphäre ist bei gegebener Temperatur und gegebenem Druck durch das Boudouard'sche Gleichgewicht (siehe auch Abb.21) eindeutig bestimmt, sofern ausreichend Kohlenstoff vorhanden ist. Störungen des Gleichgewichts während des Brandes sind nur von

kurzer Dauer.

Boudouard'sches Gleichgewicht :

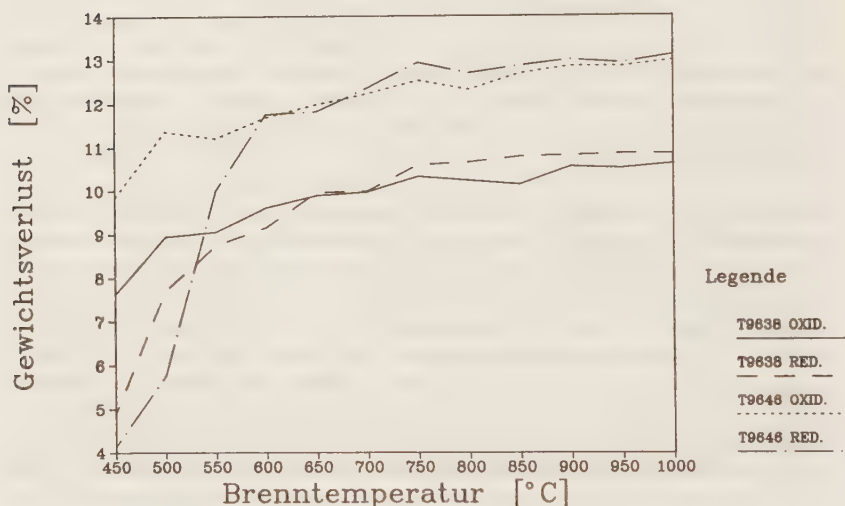
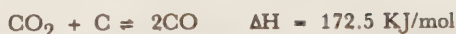
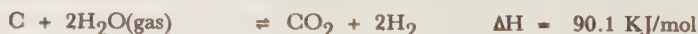


Abb. 20 : Glühverluste der Tone T9638 und T9646 bei reduzierendem und oxidierendem Brand im Temperaturintervall von 450 – 1000°C.
OXID. – oxidierend gebrannt, RED. – reduzierend gebrannt

Bei Aufrechterhaltung von Gesamtdruck und Temperatur kehrt das System selbständig in das Gleichgewicht zurück. Bei Einbruch von Sauerstoff z.B. erfolgt eine Gleichgewichtseinstellung unter Verbrennung von Kohlenstoff. Aus den Tonen frei werdendes Wasser reagiert bei höherer Temperatur ebenfalls mit Kohlenstoff. Die dabei anfallenden Reaktionen sind unter dem Namen Wassergasgleichgewicht bekannt.

Wassergasgleichgewicht :



Auch hier wird das Boudouard'sche Gleichgewicht in dem als Puffer wirkenden System wieder hergestellt, sofern oben genannte Voraussetzungen, d.h. konstanter Druck und Temperatur und Vorhandensein von elementarem Kohlenstoff, erfüllt sind. Nach **Letsch** (1982) sollte die Temperatur so hoch sein (600°C), daß die Reaktion mit genügend großer Geschwindigkeit ablaufen kann.

Aufgrund der Versuchsanordnung bei den durchgeführten Brennreihen läßt sich mit Hilfe des Boudouard'schen Gleichgewichtes eine Abschätzung der Sauerstoffgazitäten treffen, da nach jedem Versuch noch genügend elementarer Kohlenstoff in den Porzellantiegeln vorhanden ist. Für die verschiedenen Temperaturen läßt sich die Sauerstoffgazität nach der Gleichung

$$\log f_{\text{O}_2} = -0.043 - 20\,317/T$$

(**French & Eugster** 1965) berechnen (siehe Abb. 21).

Danach müßten die Sauerstoffgazitäten zwischen 6×10^{-31} (450°C) und 10^{-16} bar (1000°C) gelegen haben. Das entspricht einer sehr stark reduzierenden Atmosphäre.

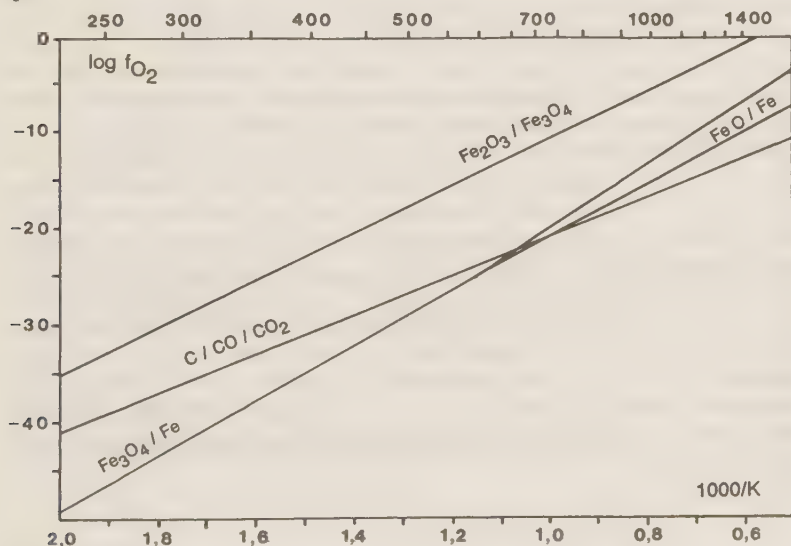


Abb. 21 : Phasengleichgewichte im Diagramm $\log f_{\text{O}_2} / 1000/\text{K}$

Das Ziel der Brennreihen liegt darin, durch Kenntnis der Phasenzusammensetzung bei verschiedenen Temperaturen eine Abschätzung der Brenntemperatur der Keramik vornehmen zu können. Trägt man die Brenntemperaturen der Brennversuche gegen die Reflexhöhen der Diffraktogramme auf, so erhält man vier Blockdiagramme (Abb.22 - 25), die im folgenden detailliert besprochen werden.

- 1) **Blauer Ton T9638 oxidierend gebrannt** (Abb.22a, 22b): Wie das Diffraktogramm bei 105°C zeigt, handelt es sich bei dem Ton T9638 um einen illitischen - chloritischen Ton mit einer kaolinitischen Komponente. Der (002) - Reflex des Fe - Chlorits ist bei 450°C fast verschwunden, während Kaolinit schon nicht mehr nachzuweisen ist. Bis etwa 800°C ist bei Illit kaum eine Abnahme der Intensitäten festzustellen. Oberhalb 800°C nehmen sie jedoch schnell und stetig ab. Ab 950°C ist kein Illit mehr zu erkennen. An seine Stelle tritt nun Mullit.

- 2) **Violetter Ton T9646 oxidierend gebrannt** (Abb.23a, 23b) : Hier gilt das gleiche wie für den Ton T9638 bis auf einen wesentlichen Unterschied: Es handelt sich beim Ausgangsmaterial um einen kaolinitischen Ton mit nur geringen Anteilen anderer Tonminerale. Kaolinit ist bei 450°C verschwunden und auch die Illit - Reflexe gehen ab 800°C langsam zurück. Die ersten Anzeichen einer Mullitbildung sind jedoch erst bei 1000°C zu erkennen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß aufgrund der Flußmittelwirkung der Alkalien, die hier in geringerer Konzentration als im Ton T9638 vorliegen (Anhang II), die Beweglichkeit der Atome und damit die Mineralneubildung geringer ist.

- 3) **Blauer Ton T9638 reduzierend gebrannt** (Abb.24a, 24b) : Chlorit (Kaolinit) ist bis 500°C gut nachzuweisen und zerfällt erst oberhalb 500°C. Die Illit - Reflexe entwickeln sich ebenso wie in oxidierender Atmosphäre und sind bei 950°C verschwunden. Mullit tritt wie in oxidierender Atmosphäre bei 950°C auf, zeigt jedoch höhere Intensitäten. Ebenfalls bei 950°C ersetzt Hercynit den Magnetit als Fe - Verbindung. Besonders zu erwähnen ist die Phasenneubildung bei 800°C. Der Hauptreflex dieser Phase erreicht bei 900°C sein Maximum und ist bei 950°C nicht mehr nachzuweisen. An seine Stelle tritt dann Mullit. Nach Auswerten des Pulverdiffraktogramms kommen folgende Verbindungen in Frage: $\text{MgAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}$ (JCPDS - Nummer = 25 - 518), $\text{MgAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}$ (27 - 716), μ - Cordierit = $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ (14 - 249). Dafür, daß es sich nicht um eine reine Mg - Verbindung handelt, sondern um eine Fe - reiche Phase, spricht die Tatsache, daß einerseits der Mg - Gehalt des Tones nur bei 1.6% gegenüber 5.2 % Fe_2O_3 liegt, andererseits die Verbindung nur in reduzierender Atmosphäre auftritt. Es muß sich um eine Verbindung handeln, die einem hexagonalen Fe - Cordierit ähnelt und nur in einem engen Temperaturintervall beständig ist.

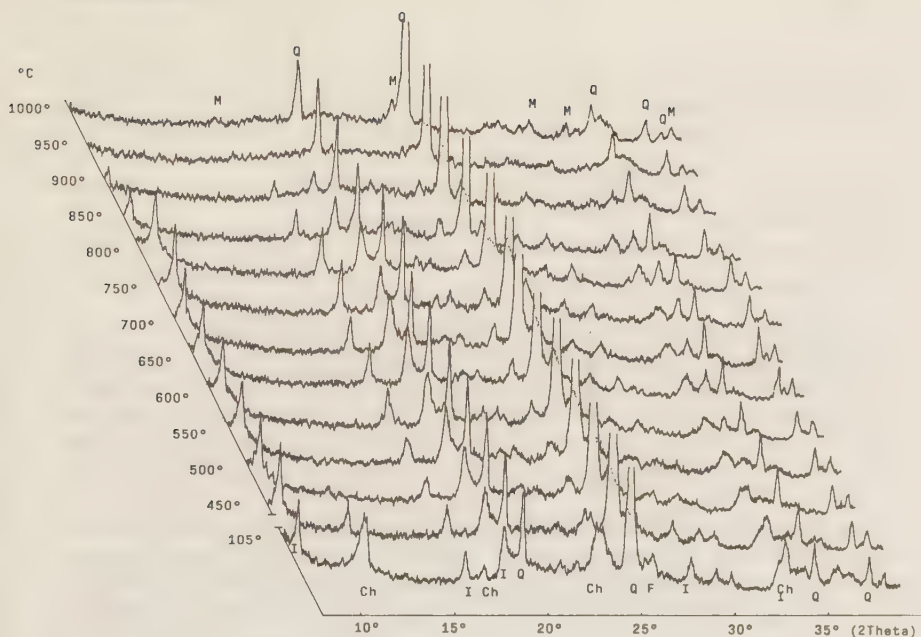


Abb. 22a: Blockdiagramm der Diffraktogramme des blauen Tones T9638 als Funktion der Temperatur: oxidierende Atmosphäre (I = Illit, Q = Quarz, Hy = Hercynit, M = Mullit, Sc = Smectit, K = Kaolinit, Ch = Chlorit, Cor = "Cordierit", F = Feldspat, Mg = Magnetit)

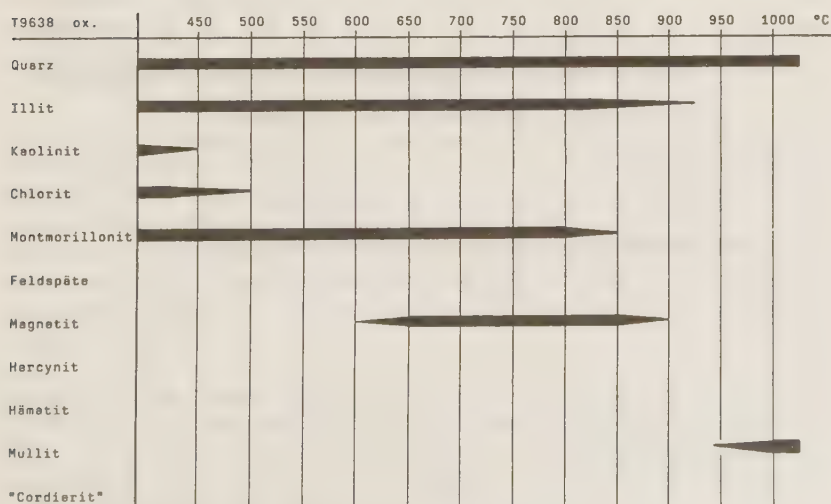


Abb. 22b: Stabilität von Mineralphasen beim Brennen von T9638 in oxidierender Atmosphäre

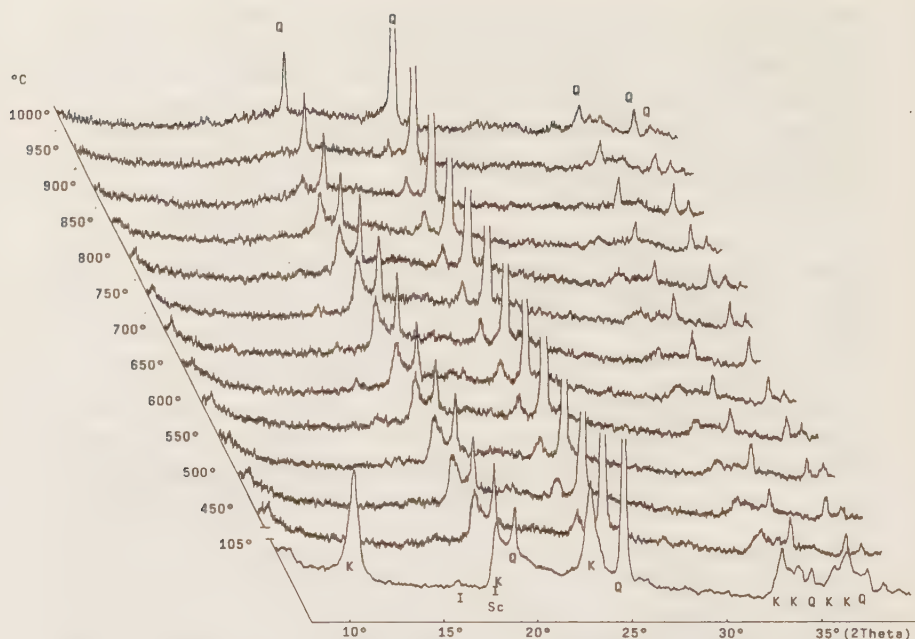


Abb. 23a: Blockdiagramm der Diffraktogramme des violetten Tones T9646 beim Brennen in oxidierender Atmosphäre als Funktion der Temperatur

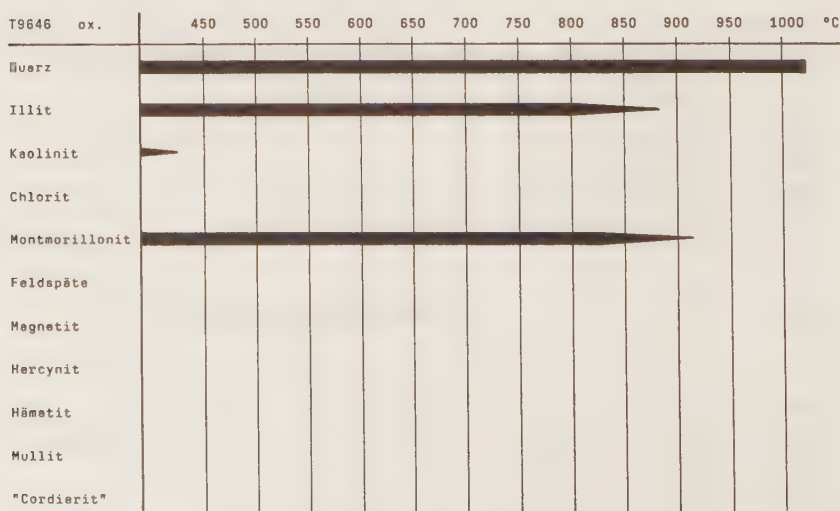
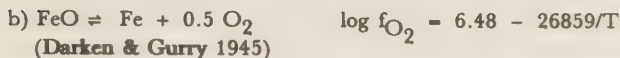
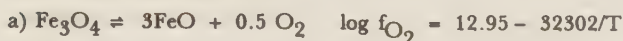


Abb. 23b: Stabilität von Mineralphasen beim Brennen von T9646 in oxidierender Atmosphäre

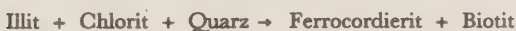
Geht man bei den reduzierend durchgeführten Bränden von einer Sauerstoffugazität im Bereich des Boudouard'schen Gleichgewichtes aus, so liegen die Schnittpunkte der Boudouard'schen Gleichgewichtsreaktion mit den Reaktionen



bei 649°C (a) und 730°C (b) (siehe Abb.21). FeO ist also nur in einem kleinen Temperaturintervall stabil und kann auch nur in diesem Bereich zur Bildung einer eisenreichen Cordierit – ähnlichen Phase beitragen. Bei den Bränden ist jedoch die Mineralneubildung erst ab 800°C zu beobachten. Diese läßt sich dadurch erklären, daß das Eisen nicht in Form von Eisenoxiden vorlag und somit auch obige Berechnungen zur Stabilität des FeO nicht exakt anwendbar sind.

Bisher wurde "Cordierit" in keramischen Bränden bei 800°C in Keramik nicht nachgewiesen. Schreyer und Schairer (1961) erzeugten einen hexagonalen "μ – Cordierit" bei Heizexperimenten mit Gläsern bei Temperaturen $\geq 900^\circ\text{C}$. Es handelte sich hierbei um eine metastabile Phase der Zusammensetzung $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ($\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$) mit Hoch – Quarz – Struktur.

Einen Fe – Cordierit beschreiben Heimann et al. (1980) in stark reduzierend ($f_{\text{O}_2} < 10^{-4}$ atm) gebrannten kalkreichen illitischen Tonen. Er bildete sich erst bei Temperaturen von über 1000°C. Heimann et al. (1980) erklärten die Bildung des Ferrocordierits teils durch fest/fest – Reaktion, teils durch Kristallisation direkt aus der Schmelze. Dabei folgt im ersten Prozeß die Bildung des Ferrocordierits etwa der Reaktion:



Für eine Kristallisation aus der Schmelze spricht der Nachweis (mit dem Raster-elektronenmikroskop) von Ferrocordierit zusammen mit Biotit in Schmelzkavernen. Heimann et al. (1980) erklären dies durch eine Erhöhung der Keimbildungsgeschwindigkeit durch die viskositätsniedrigende Wirkung der Ca^{2+} Ionen. Dieser Ferrocordierit ist im Unterschied zu der Cordierit – ähnlichen Phase der Brennversuche ein "echter" Cordierit mit Hochcordierit – (Indialit –) Struktur. Er bildet sich bei schneller Kristallisation, und verglichen mit dem Mg – Cordierit, bei niedrigerer Temperatur.

Vorerst bleibt also festzuhalten, daß sich im Fe – reichen illitisch – chloritischen Ton T9638 unter stark reduzierenden Bedingungen eine cordieritähnliche Verbindung bildet. Da in keiner untersuchten Keramik aus dem Kröning bisher diese Phase nachgewiesen werden konnte, bleibt deren nähere Charakterisierung einer ausführlichen experimentellen und analytischen Studie vorbehalten.

- 4) **violetter Ton T9646 reduzierend gebrannt** (Abb. 25a,b) : Hier gilt in etwa das gleiche wie für den reduzierend gebrannten Ton T9638. Besonders deutlich wird bei diesem kaolinitischen Ton die größere Stabilität des Kaolinit in reduzierender gegenüber der in oxidierender Atmosphäre. Selbst bei 500°C sind seine Reflexe noch sehr stark. Für Illit gilt ähnliches wie im oxidierenden Brand. Die unter 3) beschriebene cordieritähnliche Phase konnte hier nicht nachgewiesen werden.

Versucht man, anhand der Ergebnisse der Brennreihen die Brenntemperaturen von Keramik abzuschätzen, so wird deutlich, daß hiermit die Brenntemperaturen nicht genau bestimmt werden können. Sowohl im violetten kaolinitischen Ton wie auch im illitisch-chloritischen Ton treten im untersuchten Temperaturintervall von 450 bis 1000°C nur wenige aussagekräftige Phasenumwandlungen auf, die zur Temperaturbestimmung herangezogen werden könnten. Das gilt für den reduzierenden und oxidierenden Brand. Es gibt lediglich zwei Temperaturbereiche, die eine Aussage zulassen:

- der untere Temperaturbereich < 550°C, wenn sich noch Kaolinit (Chlorit) nachweisen läßt.
- der obere Temperaturbereich ab 900 – 950°C. Illit wird vollkommen zerstört, und Mullit, begleitet von Spinellen, und später Cristoballit tauchen auf.

Im Intervall von 550° bis etwa 800°C lassen sich keine Temperaturabschätzungen treffen. Zudem wird eine Temperaturbestimmung durch die sehr unterschiedliche Kristallinität des Illit/Muskovits in den Kröninger Tonen und dessen Mengenanteil im Scherben erschwert. Die im Experiment unter stark reduzierenden Bedingungen erzeugte cordieritähnliche Phase tritt nur im Temperaturbereich von 800 – 900°C auf und bildet somit weitere Temperaturmarken. Für die Kröninger Irdenware können diese jedoch nicht genutzt werden, da dieser "Fe – Cordierit" in keiner untersuchten Keramik aus dem Kröning oder aus dem Umland nachgewiesen werden konnte.

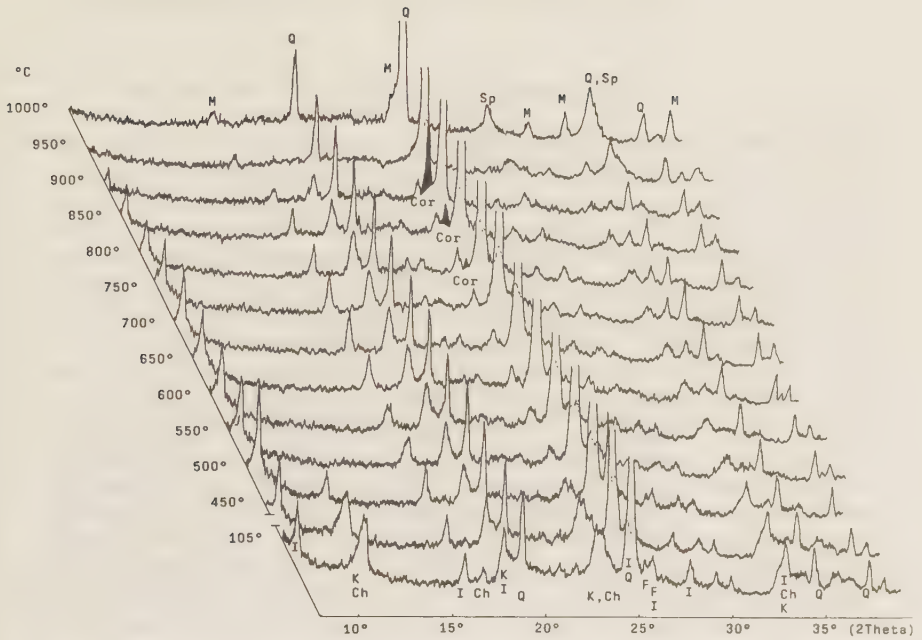


Abb. 24a: Blockdiagramm der Diffraktogramme beim Brennen des blauen Tones T9638 als Funktion der Temperatur: reduzierende Atmosphäre

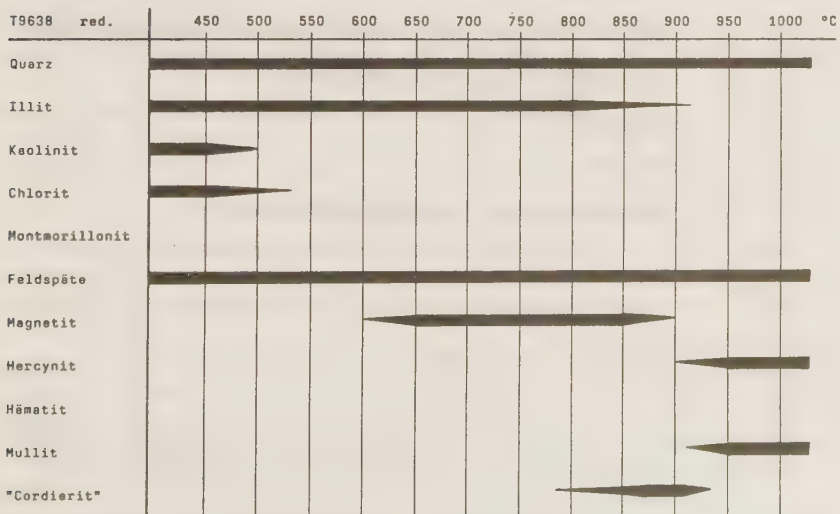


Abb. 24b: Stabilitäten von Mineralphasen beim Brennen von T9638 in reduzierender Atmosphäre

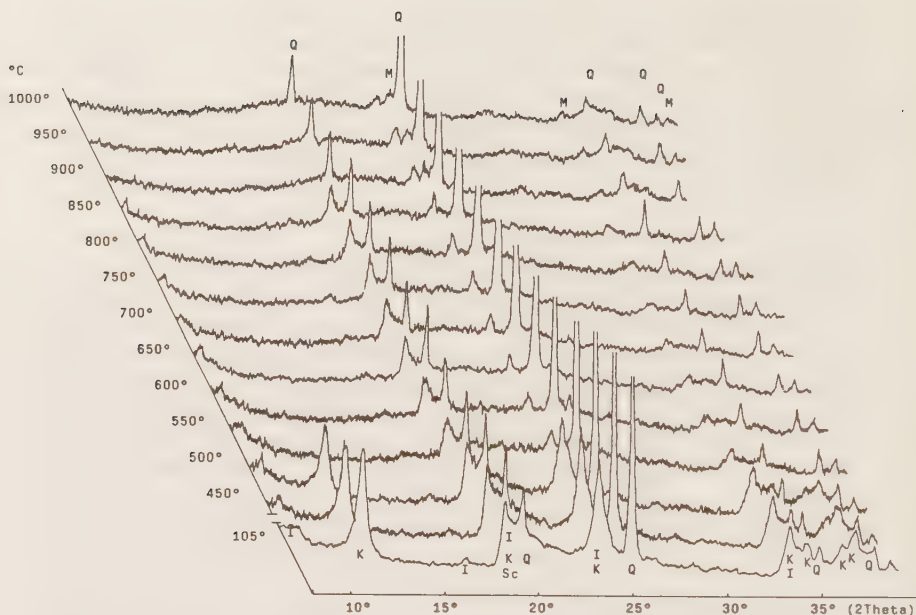


Abb. 25a: Blockdiagramm der Diffraktogramme beim Brennen des violetten Tones T9646 als Funktion der Temperatur: reduzierende Atmosphäre

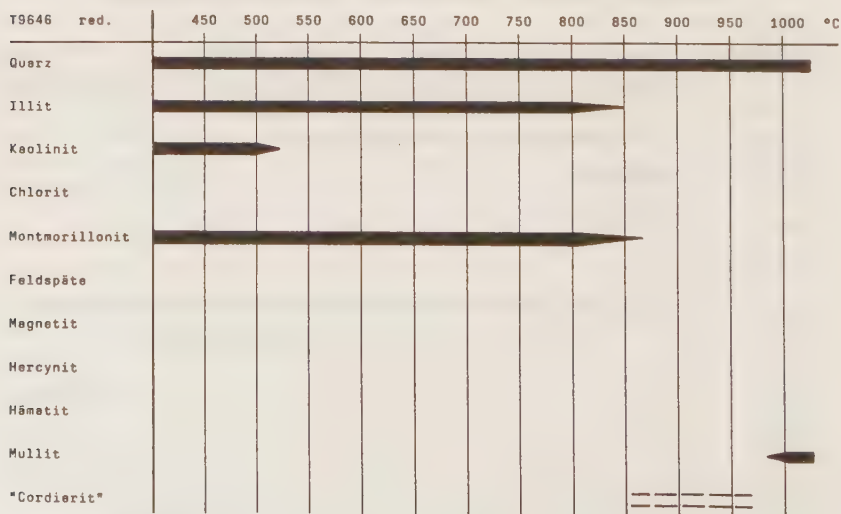


Abb. 25b: Stabilität von Mineralphasen beim Brennen von T9646 in reduzierender Atmosphäre

8. Analytische Untersuchungen an Kröninger Irdenware und Tonen

8.1. Elementanalytik mit der Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Meßwerte der Keramik- und Tonproben wurden mit Hilfe der in Kapitel 6 genannten statistischen Verfahren ausgewertet. Na_2O und Sr wurden aus den in Kapitel 5 erläuterten Gründen nicht berücksichtigt. Ebenso wurden die Meßwerte des Phosphors nicht benutzt: Er kommt in allen organischen Substanzen mehr oder weniger vor, die als Verunreinigung des Tones, als Teil der Magerung (bei der Kröninger Irdenware jedoch nicht zugesetzt), bei der Benutzung als Eßgeschirr und auch bei der Bodenlagerung den Porenraum der Keramik ausfüllen können. Phosphor ist ein Bestandteil vieler Kunstdünger und so ist es nicht verwunderlich, daß sein Gehalt bei den Keramikfunden stark streut und somit nicht zu einer Charakterisierung von keramischen Bodenfunden beitragen kann. Zum gleichen Schluß kommen auch **Schneider** (1978) und **Maggetti et al.** (1986). Es ist nur dann sinnvoll, Phosphor in eine Auswertung mit einzubeziehen, wenn die Keramik nicht für den Gebrauch hergestellt wurde, sondern sogleich in Museumsvitrinen oder private Sammlungen wanderte. Die SiO_2 -Werte sind zum Teil mit Meßfehlern behaftet (siehe Kap. 5) und werden nur zur Aufgliederung der Keramik mittels Variationsdiagrammen benutzt. Bei der Cluster- und Diskriminanzanalyse werden die SiO_2 -Werte außer acht gelassen, da einerseits die Meßfehler die Resultate verfälschen können und andererseits SiO_2 durch seine negative Korrelation mit Al_2O_3 ($r = -0.837$) bereits berücksichtigt ist.

Die untersuchten Proben werden bei der Auswertung in drei Gruppen eingeteilt.

- A : **Kröninger Irdenware**: Sie stammt aus sicheren Werkstattbruchgruben und wird zur Definition von Gruppierungen innerhalb der Kröninger Irdenware benutzt (Kap. 8.1.1.).
- B : **Vergleichsproben**: Diese Keramikproben aus dem Kröning und dem Umland dienen zur Überprüfung der unter A erstellten Gruppierungen (Kap. 8.1.2.).
- C : **Tonproben** aus dem Kröning i. e. S. und von der Bina (Kap. 8.1.3.).

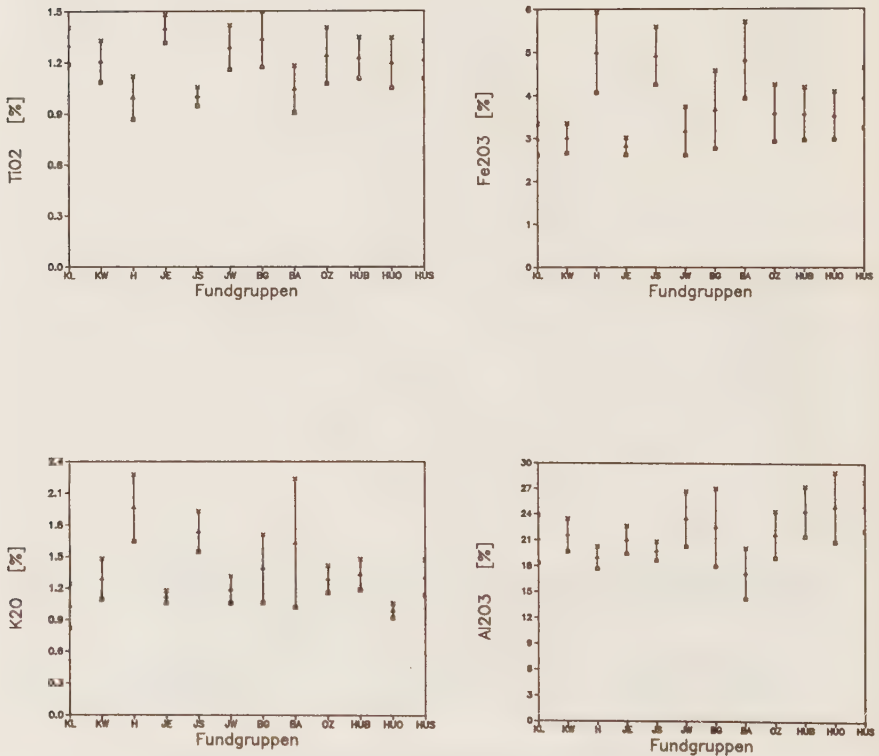
8.1.1 Röntgenfluoreszenzanalyse der Kröninger Irdenware

Die Röntgenfluoreszenzanalyse soll folgende Fragen beantworten:

- Liegen innerhalb des Komplexes der Kröninger Irdenware verschiedene chemische Gruppen vor?
- Wenn ja, inwieweit stimmen diese mit den "a priori" Gruppen der verschiedenen Fundorte überein.

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Elemente, berechnet für alle "a priori" definierten Gruppen, geben einen ersten Überblick (Abb.26). Danach leisten Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Rb und Nb den größten Beitrag zu

einer Gruppentrennung. Eine stärkere Überlappung der Fundgruppen ist bei Ni, Y und Cr zu beobachten. Nahezu ohne Bedeutung sind MnO, CaO, Zn, Zr und Ba.



▲ MW × MW+S □ MW - S

Abb. 26: Elementverteilung der Fundgruppen

MW – Mittelwert, S – Standardabweichung

KL – Kleinbettenrain (Wurzer)

KW – Kleinbettenrain (Winterstetter), H – Hundspoint

JE – Jesendorf (Eder), JS – Jesendorf (Schickerbauer)

JW – Jesendorf (Wippenbeck)

BG – Bina (Garage), BA – Bina (Stall), OZ – (Otzelberg)

HUB – Hub (Hof), HUO – Hub (Hühnerstall – oxidierend gebrannt)

HUS – (Hühnerstall – reduzierend gebrannt)

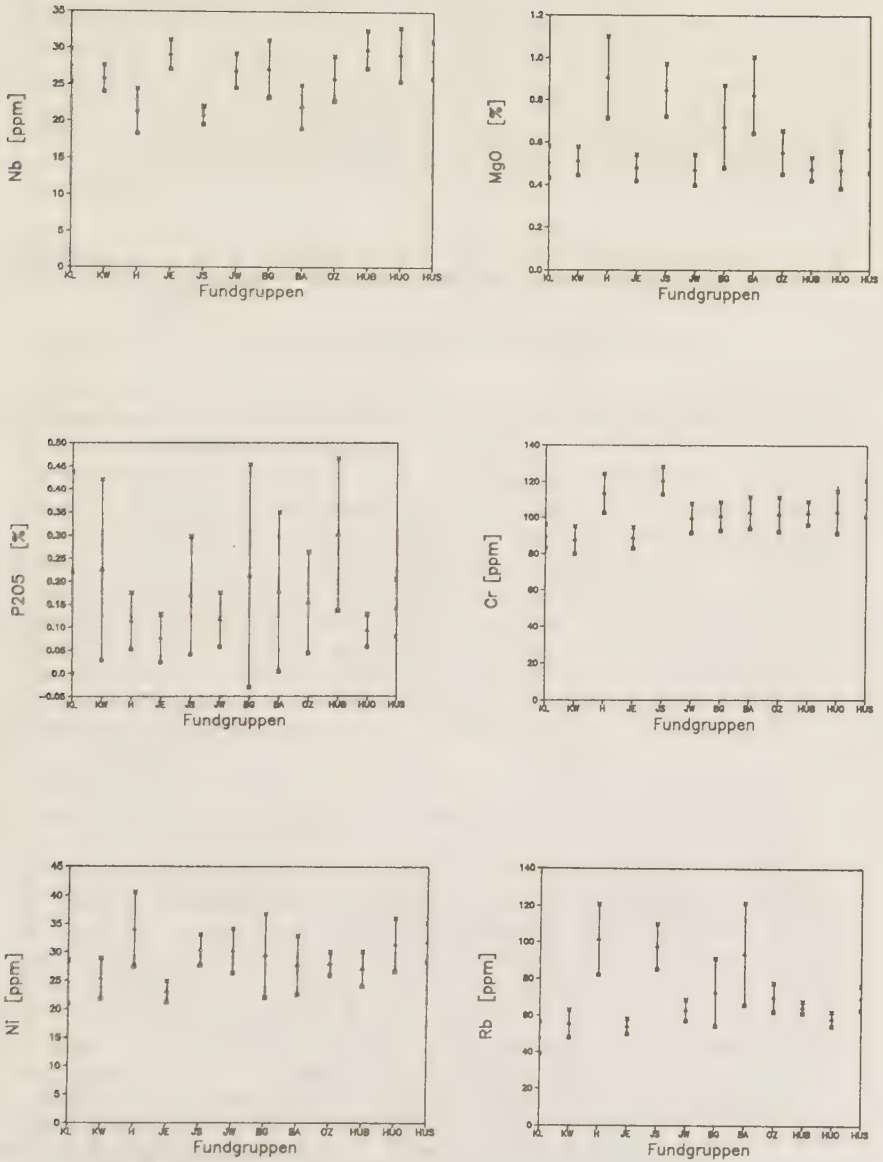


Abb. 26: Elementverteilung der Fundgruppen

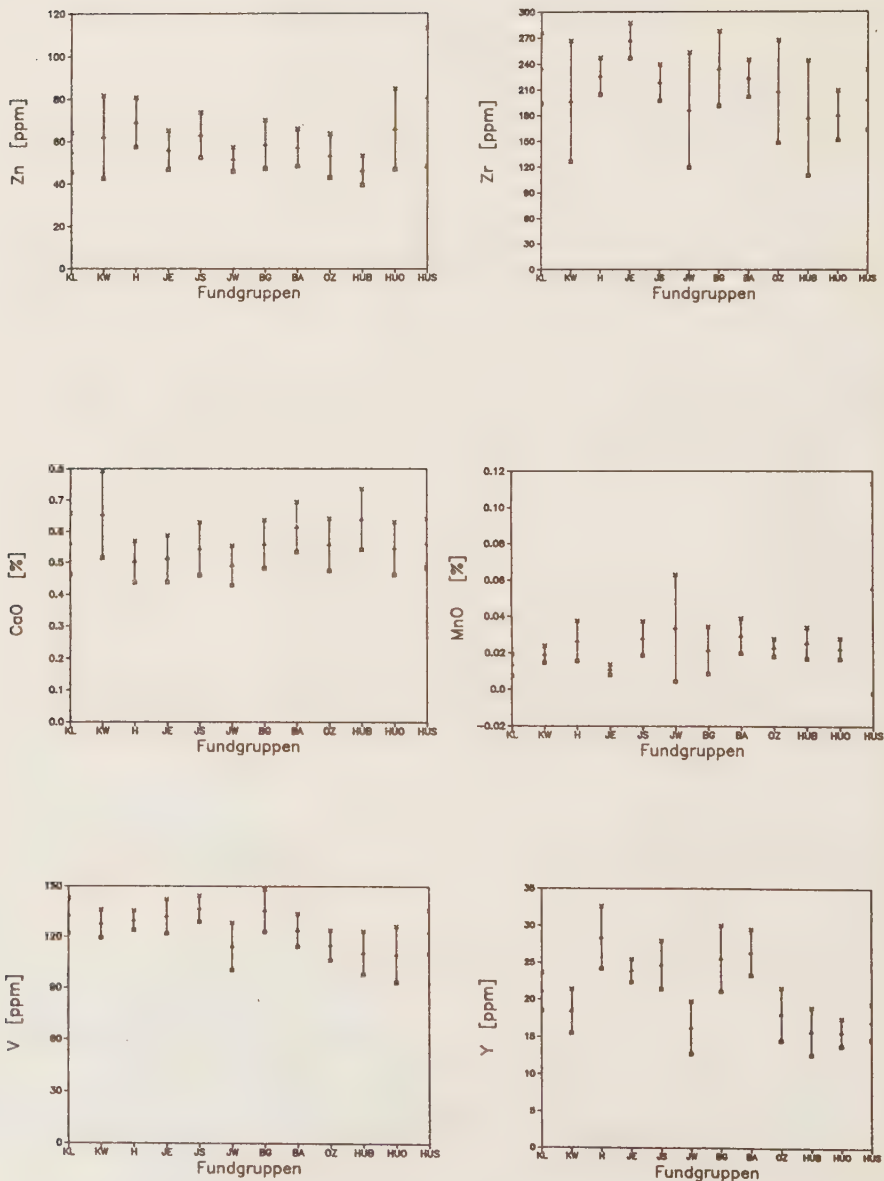


Abb. 26: Elementverteilung der Fundgruppen

8.1.1.1. Variationsdiagramme

Im Variationsdiagramm $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (Abb.27) wird die Einteilung der Fundgruppen der Kröninger Irdenware in zwei Gruppen deutlich. Die Hauptgruppe I zeichnet sich durch eine gute Korrelation der Elemente aus und liegt bei niedrigeren $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ - Werten und höheren Al_2O_3 - Werten, verglichen mit der Hauptgruppe II. Dies bedeutet, daß für die Hauptgruppe I ein eher kaolinitischer Ton, für die Hauptgruppe II ein chloritischer - illitischer Ton bevorzugt wurde. Der Fundort Bina (Stall) zeigt die insgesamt niedrigsten Al_2O_3 - Gehalte. Den beiden Hauptgruppen lassen sich die Fundgruppen wie folgt zuordnen:

Hauptgruppe I: Kleinbettenrain (Wurzer), Kleinbettenrain (Winterstetter), Jesendorf (Eder), Jesendorf (Wippenbeck), Bina (Garage), Hub

Hauptgruppe II: Hundspoint, Jesendorf (Schickerbauer), Bina (Stall).

Die Hauptgruppe II besteht fast ausschließlich aus reduzierend gebrannter Ware. Die vereinzelt auftretenden oxidierend gebrannten Stücke sind meist als Ausreißer zu betrachten und sind der Hauptgruppe I zuzurechnen.

Al_2O_3 ist aufgrund der geochemischen Verwandtschaft mit Cr korreliert (Abb. 28). Al^{3+} ($R = 0.61A$) wird durch Cr^{3+} ($R = 0.70A$) vertreten. Abbildung 28 zeigt, daß das $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cr}$ - Verhältnis in der Hauptgruppe I größer als das in der Hauptgruppe II ist. Dies läßt erneut den Schluß zu, daß es sich um unterschiedliche Tone handelt, die die Hafner der beiden Gruppen zu ihrer Keramik verarbeitet haben. Es sei hervorgehoben, daß derartige Unterschiede nicht an der Magerung liegen können. Eine unterschiedliche Magerung, die nach archivalischen Quellen aus Quarzsanden bestand, würde nur die absoluten Mengen, jedoch nicht die Elementverhältnisse beeinflussen.

K_2O ist nicht mit Al_2O_3 (Abb.29) und nicht mit TiO_2 (Abb.30) korreliert. Obwohl sich die beiden Hauptgruppen leicht überlappen, sind die Bereiche von Hauptgruppe I und Hauptgruppe II sicher abzugrenzen. Die niedrigen Al_2O_3 - bei hohen K_2O - Gehalten der Hauptgruppe II sprechen wiederum für eine Verwendung von illitischen Tönen. Vier Proben von Bina (Stall) weichen in fast allen Elementen von der Hauptgruppe II deutlich ab (nur in Abb.29 dargestellt). Diese Abweichungen, die vermutlich auf der Verwendung ungemagerter Tone beruhen, werden im Zusammenhang mit den Tönen besprochen (Kap. 8.1.3).

Rb und K_2O (Abb.31) sind aufgrund ihrer geochemischen Verwandtschaft gut miteinander korreliert ($r = 0.933$). Das Variationsdiagramm bestätigt die Gruppenbildung. Die Proben aus Kleinbettenrain (Wurzer) zeigen die niedrigsten Rb - und K_2O - Werte, was auf die Verwendung eines kaolinitischen Tones hindeutet. Bei genauer Betrachtung erkennt man, daß die Trends in den einzelnen Gruppen die "Korrelationsgerade" aller Gruppen schneiden. Da eine Quarz - Magerung auch das Rb/ K_2O - Verhältnis nicht zu ändern vermag, muß auch hier die Ursache in verschiedenen Tönen liegen.

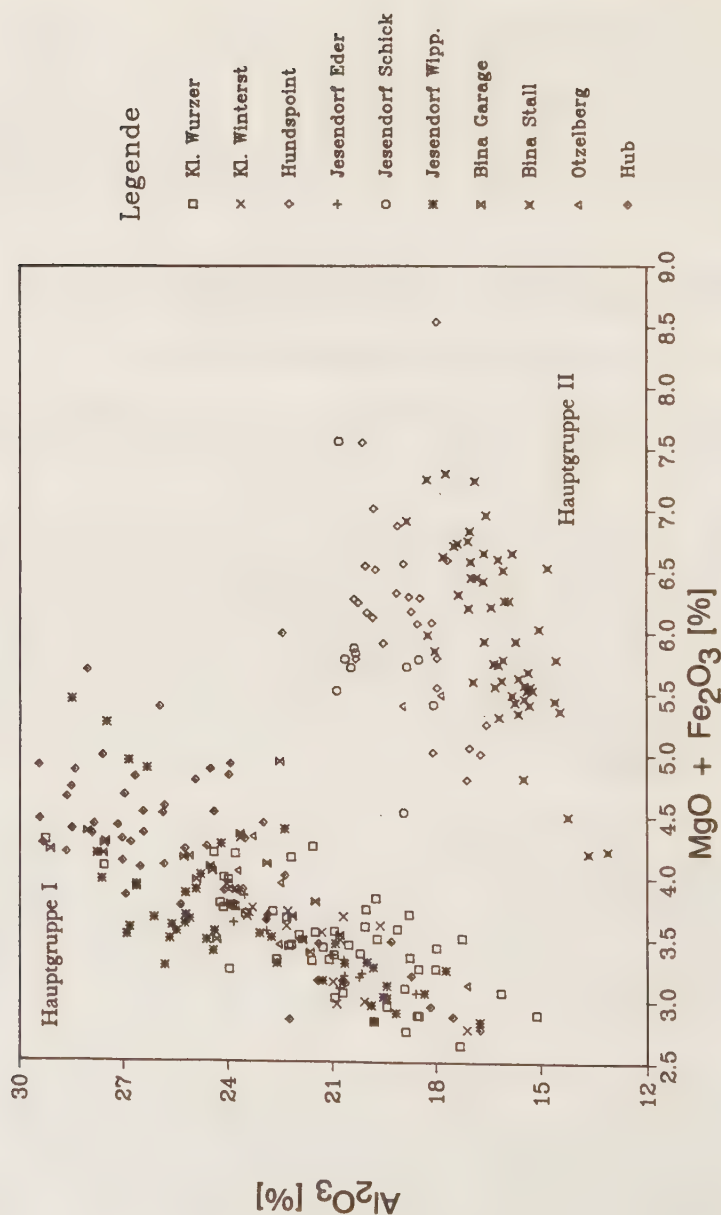


Abb. 27: Variationsdiagramm $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$

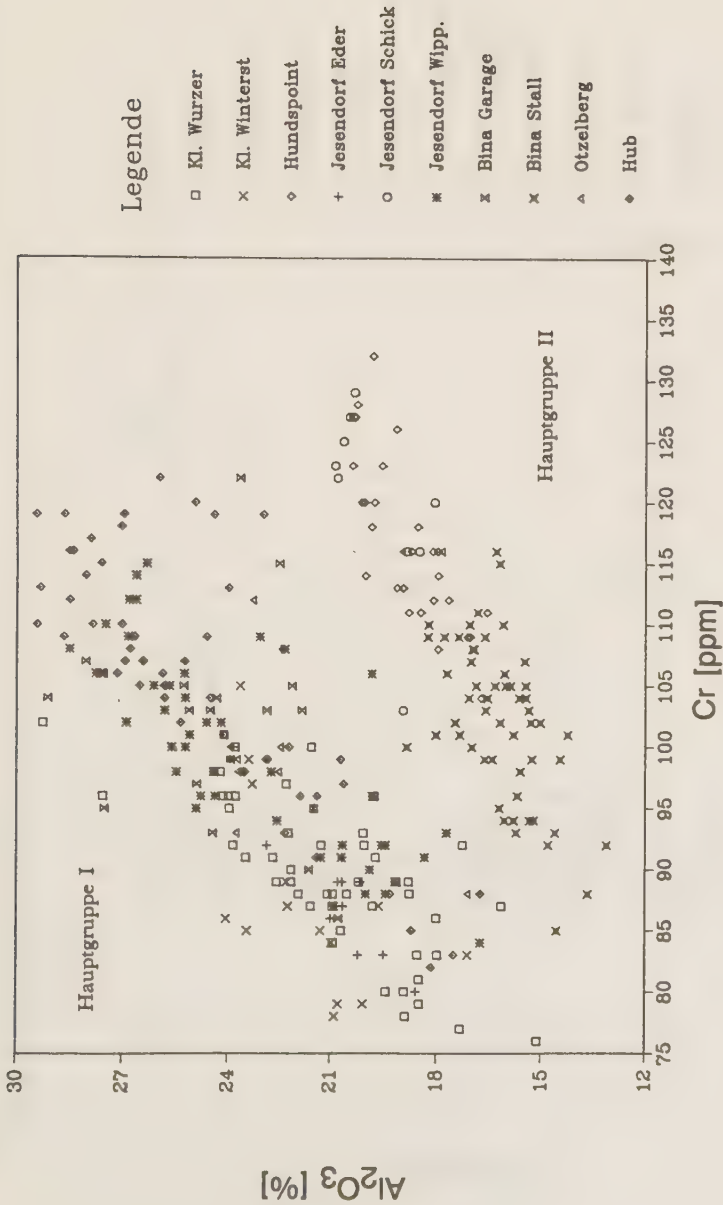


Abb. 28: Variationsdiagramm Al₂O₃/Cr

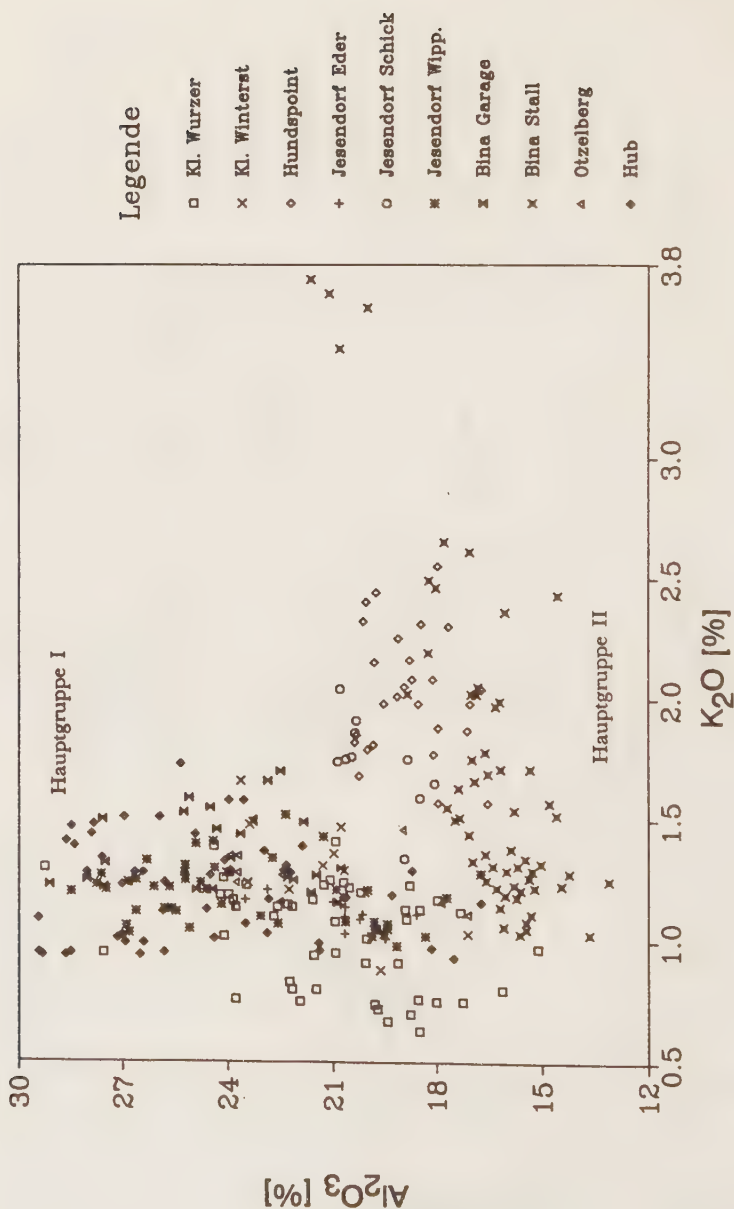
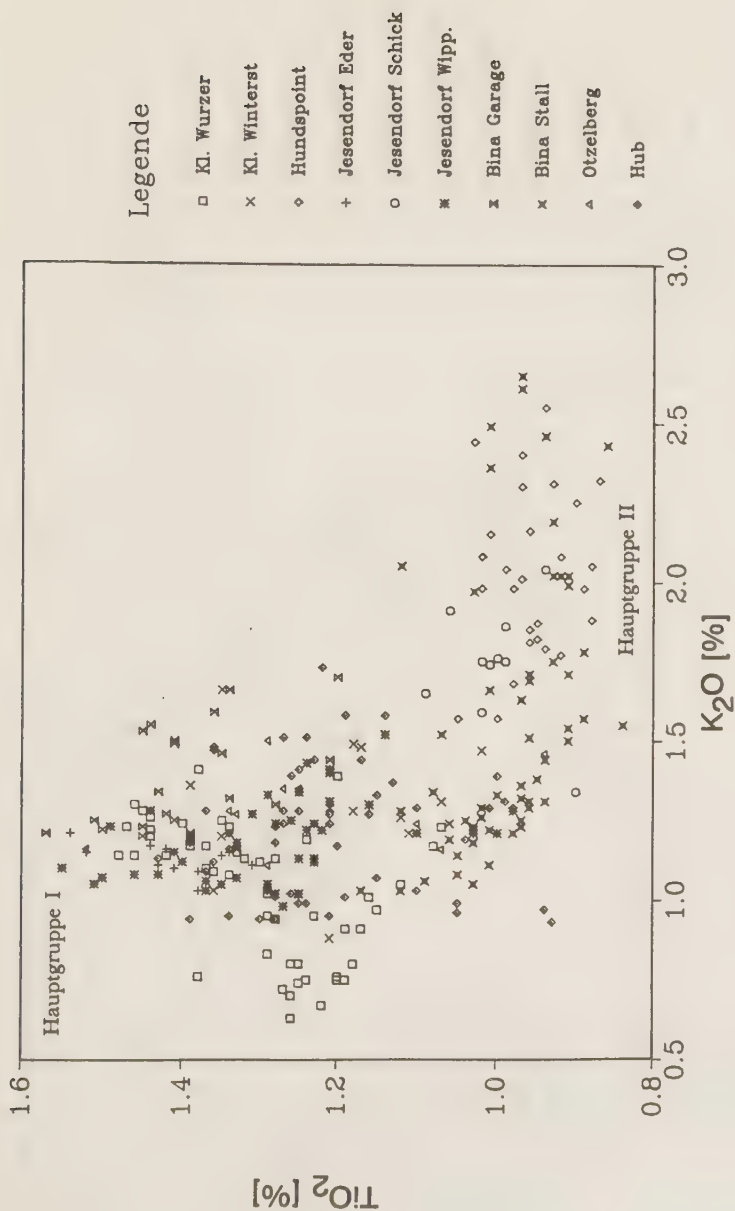


Abb. 29: Variationsdiagramm Al_2O_3 / K_2O

Abb. 30: Variationsdiagramm TiO_2 / K_2O

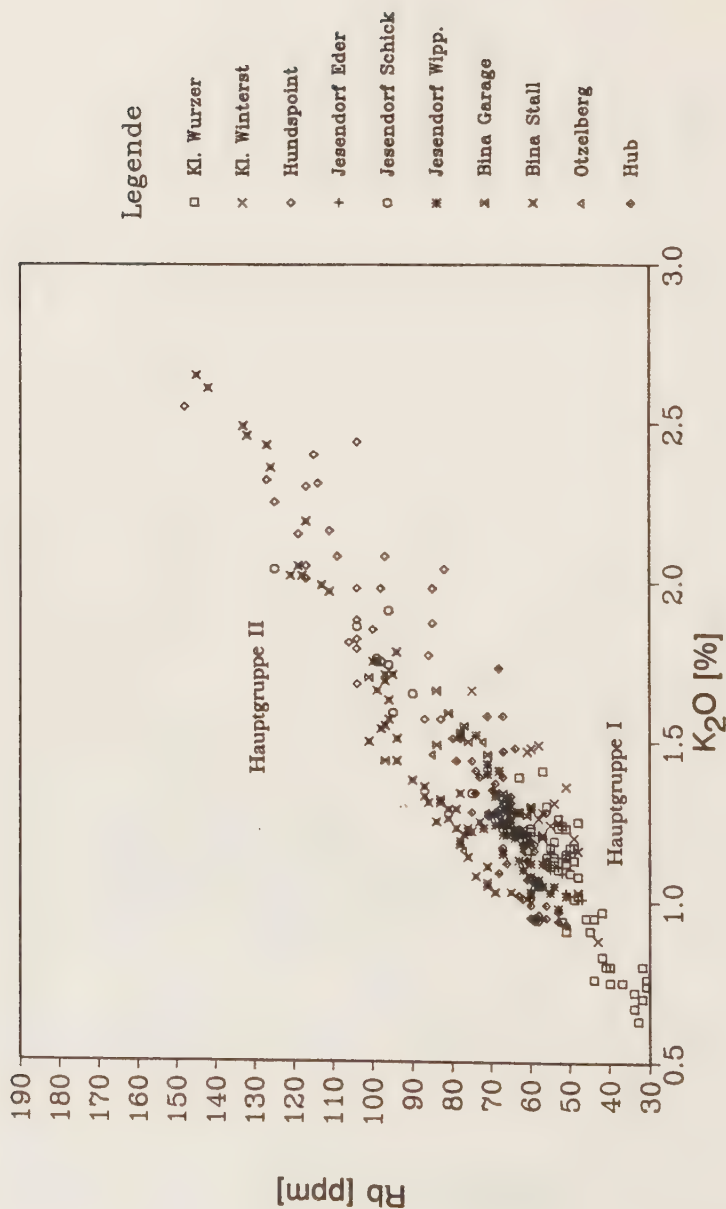


Abb. 31: Variationsdiagramm Rb / K₂O

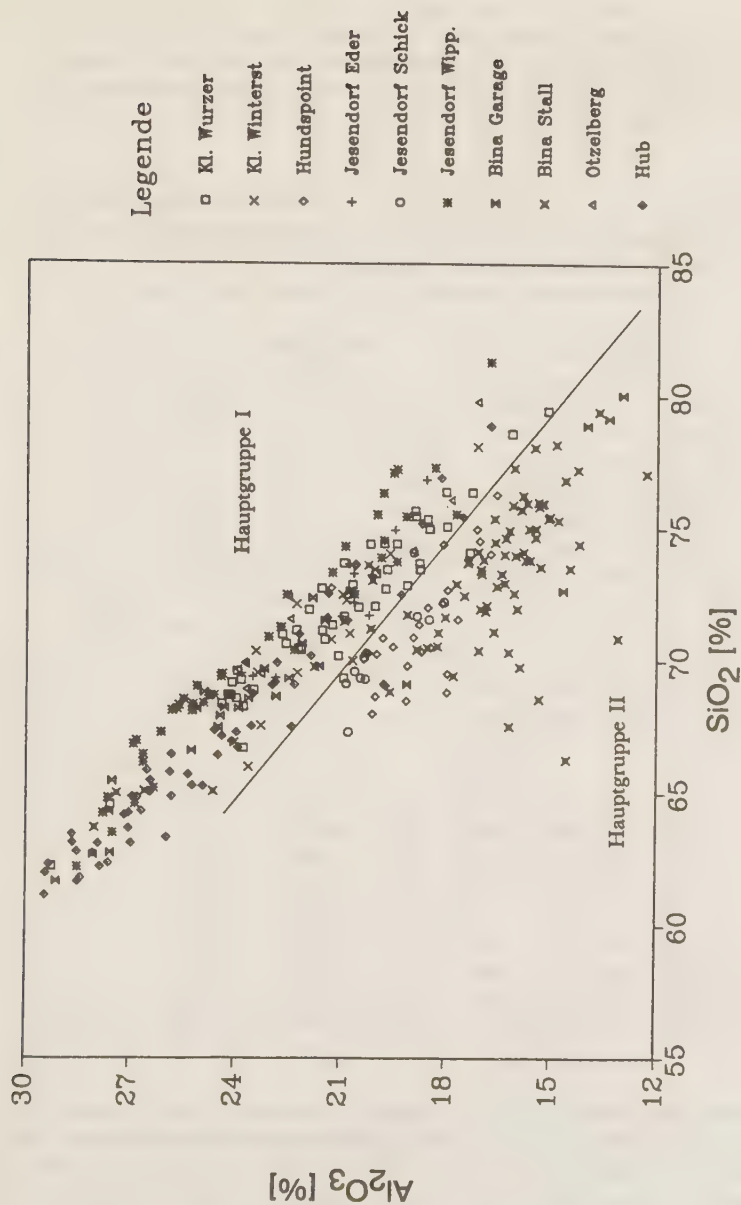


Abb. 32: Variationsdiagramm SiO₂ / Al₂O₃

SiO_2 und Al_2O_3 (Abb.32) sind gut korreliert. Diese Korrelation ist bei den Proben der Hauptgruppe I weitaus besser als bei den Proben der Hauptgruppe II. Besonders die Proben von Bina (Stall) streuen sehr. Dies läßt auf eine insgesamt schlechtere Sorgfalt bei der Rohstoffauswahl oder einen qualitativ schlechteren (d.h. inhomogeneren) Ton schießen.

Tabelle 8: Streubereiche der Hauptgruppen I und II unter Berücksichtigung aller zur Hauptgruppe I und II gehörenden Fundgruppen und Proben.

Min. - Minimum, Max. - Maximum,

$\bar{x}$ - arithmetrischer Mittelwert, S - Standardabweichung

Element [%]	Hauptgruppe I n=209			Hauptgruppe II n=119			
	Min.	$\bar{x}$ (S)	Max.	Min.	$\bar{x}$ (S)	Max.	
SiO_2	61.1	69.9(4.4)	81.3	60.2	72.0(3.3)	79.4	
TiO_2	0.87	1.27(.14)	1.57	0.84	1.03(.3)	1.53	
Al_2O_3	13.0	22.8(3.4)	29.5	12.3	17.9(2.7)	28.2	
Fe_2O_3	2.19	3.31(.66)	7.12	2.44	4.87(.87)	7.11	
MnO	0.01	0.03(.03)	0.25	0.01	0.03(.01)	0.06	
MgO	0.28	0.52(.12)	1.56	.43	0.85(.18)	1.43	
CaO	0.34	0.56(0.1)	0.97	.34	.58(.09)	.92	
Na_2O				.03	.20(.08)	.48	
K_2O	0.63	1.19(.23)	2.59	1.03	1.72(.54)	3.74	
P_2O_5	0.04	0.18(.17)	0.95	.04	.16(.15)	1.19	
[ppm]							
Ba	228	338(51)	505	264	365(82)	721	
Cr	76	97(10)	122	83	107(11)	134	
Ni	16	28(5)	49	13	29(6)	47	
Rb	31	60(12)	131	57	96(25)	186	
Sr				39	52(9)	79	
Zn	37	58(16)	160	30	60(10)	91	
Zr	118	210(57)	364	151	223(21)	278	
Nb	17	28(3)	35	16	22(3)	32	
Y	11	19(5)	44	18	27(3.5)	44	
V	83	123(15)	161	101	126(9)	164	

Die Einteilung der Fundgruppen der Kröninger Irdenware in zwei Gruppen (Tab. 8) beschreibt nicht zwei für alle Elemente vollständig voneinander getrennte Gruppen, sondern beinhaltet eine mehr oder weniger starke Überlappung der Proben der Gruppen im Grenzbereich. Es liegen einige Proben der einen Gruppe im Feld der anderen Gruppe (Abb.33, 34). Diese "Ausreißer" treten vor allem in den Fundgruppen Hundspoint, Bina (Stall) und Bina (Garage) auf und weichen in ihren Elementgehalten stark vom Mittelwert der zugehörigen Fundgruppen ab.

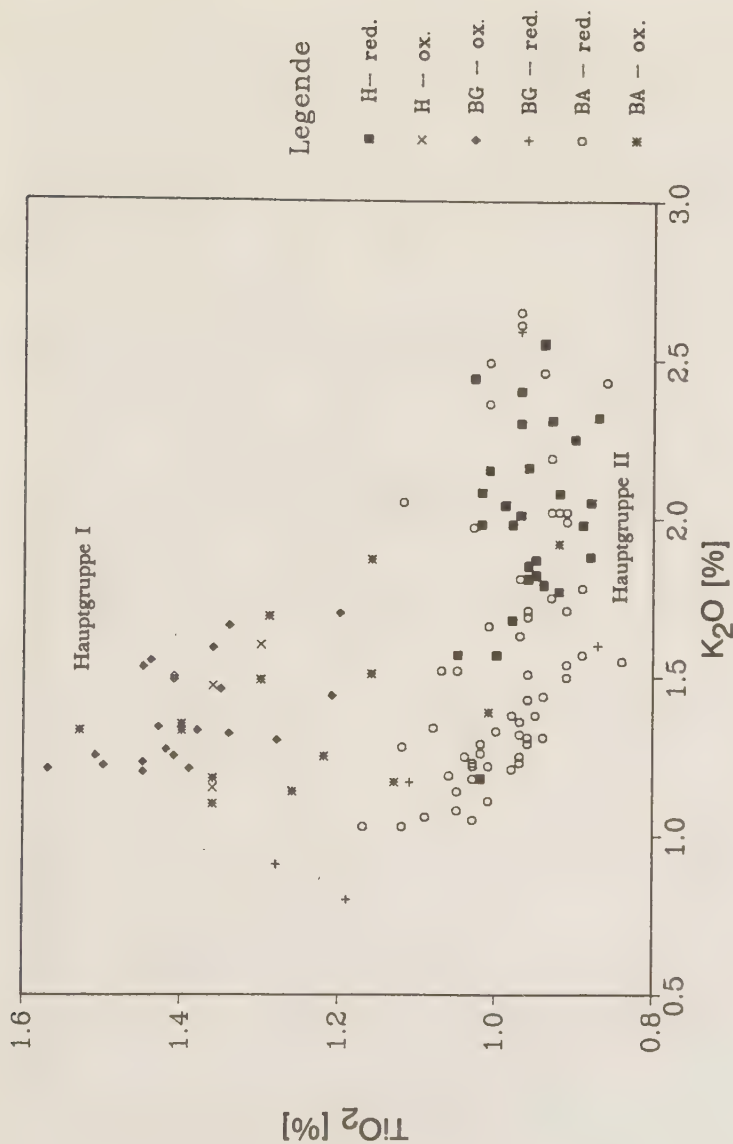


Abb. 33: Variationsdiagramm TiO_2 - K_2O der Fundgruppen
 H - Hundspoint, BA - Bina (Stall), BG - Bina (Garage).
 Unterscheidung in reduzierend und oxidierend gebrannte Proben.

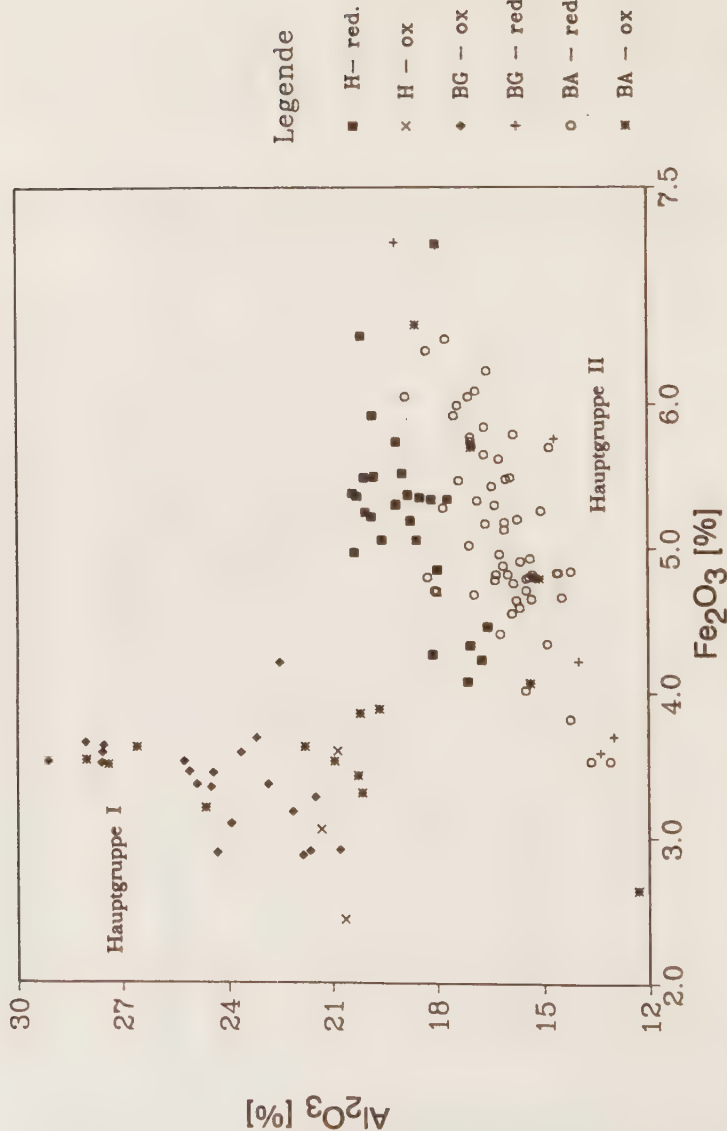


Abb. 34: Variationsdiagramm Al_2O_3 - Fe_2O_3 (vgl. Abb. 33)

Diskussion

Anhand der Variationsdiagramme können die untersuchten Proben Kröninger Irdenware in zwei große Gruppen unterschieden werden, die mit Hauptgruppe I und Hauptgruppe II bezeichnet werden. Die Trennung ist jedoch nicht vollständig und es kommt zu Überlappungen, d.h. Proben von Hauptgruppe I fallen in den Bereich der Hauptgruppe II und umgekehrt. Das trifft vor allem auf Proben der Fundgruppen Hundspoint, Bina (Stall) und Bina (Garage) zu. Bei diesen "Ausreißern" handelt es sich nicht um "Ausreißer" in dem Sinne, daß Proben, die in Wirklichkeit z.B. zu Bina (Stall) gehören, ins Feld einer anderen Gruppe fallen, sondern es sind Proben, die von ihrer Herkunft her schon in die andere Gruppe gehören. Neben der chemischen Zusammensetzung deutet meist auch die Brennführung (oxidierend, reduzierend) darauf hin. So sind es im Falle der Fundgruppen Hundspoint und Bina (Stall) die oxidierend gebrannten Stücke, die zu den "Ausreißern" gehören, im Falle der Fundgruppe Bina (Garage) dagegen reduzierend gebrannte Stücke. Für diese Ausreißer gibt es zwei Erklärungen:

- 1) "Ausreißer im Raum": Die Keramik, zu der diese Proben zu rechnen sind, wurde an einem anderen Ort hergestellt. Für einen Schwarzhafner würde dies bedeuten, daß er z.B. glasierte Ware bei einem anderen Hafner oder einem Händler erworben hat und sie dann später bei Bruch zum eigenen Keramikabfall seiner Werkstatt geworfen hat.
- 2) "Ausreißer in der Zeit": Diese Proben stammen von einer Irdenware, die früher oder später in derselben Werkstatt hergestellt wurde.

Die wenigen oxidierend gebrannten Scherben von Hundspoint, die nur einen verschwindend geringen Anteil am Gesamtfund ausmachen, stammen wahrscheinlich aus einer anderen Werkstatt. Die chemische Zusammensetzung der Scherben entspricht derjenigen der Hauptgruppe I.

Beim Fund in Dörfel (Bina (Stall), Bina (Garage)) handelt es sich um Keramik, die zu verschiedenen Zeiten hergestellt wurde. Beide Fundgruppen wurden unmittelbar benachbart geborgen, so daß eine Mischung des unterschiedlichen Materials durch Bodenbearbeitung leicht zu erklären ist.

Berücksichtigt man die erkannten Ausreißer, so ist es mit Hilfe der Variationsdiagramme möglich, zwei Gruppen innerhalb der Kröninger Irdenware deutlich zu unterscheiden, deren charakteristische "Grenzwerte" in Tabelle 9 zusammengefaßt sind. Der Grund für diese Unterschiede ist in der Technologie zu finden. So wurden zur Erzeugung der oxidierend gebrannten Ware bevorzugt eisenarme, kaolinitische Tone verarbeitet, da nur sie in einem oxidierenden Brand die charakteristische Gelbfärbung zeigen. Die gleichen Tone wurden auch zur Herstellung reduzierend gebrannter Ware z.B. in Kleinbettenrain benutzt. Bestimmte Hafner (Hundspoint, Jesendorf (Schickerbauer)) haben jedoch zur Herstellung ihres Schwarzeschirrs bewußt eisenreichere "minderwertige", vielleicht auch billigere Tone benutzt.

Tabelle 9: Streuung der Elemente für die Hauptgruppen I und II unter Eliminierung der Ausreißer.

Min - kleinster Wert, Max. - größter Wert,

 $\bar{x}$ - arithmetrischer Mittelwert, S - Standardabweichung

Element [%]	Hauptgruppe I n=203			Hauptgruppe II n=95		
	Min.	$\bar{x}$ (S)	Max	Min	$\bar{x}$ (S)	Max.
SiO ₂	61.1	69.8(4.3)	81.3	60.2	72.1(3.2)	79.4
TiO ₂	0.93	1.28(.13)	1.57	0.84	0.99(.08)	1.21
Al ₂ O ₃	15.1	23.0(3.2)	29.5	13.1	17.5(1.9)	21.6
Fe ₂ O ₃	2.19	3.27(.58)	5.33	3.35	5.08(.71)	7.11
MnO	0.01	0.02(.02)	0.25	0.01	0.03(.01)	0.06
MgO	0.28	0.51(.09)	0.82	0.53	0.89(.18)	1.43
CaO	0.34	0.56(.10)	0.97	0.34	0.57(.09)	0.84
K ₂ O	0.63	1.18(.21)	1.73	1.03	1.80(.57)	3.74
P ₂ O ₅	0.04	0.13(.12)	0.90	0.04	0.12(.12)	0.63
[ppm]						
Ba	228	338(50)	504	264	363(86)	721
Cr	76	97(11)	122	85	109(11)	134
Ni	18	28(5)	44	17	30(6)	47
Rb	31	59(12)	101	65	98(25)	186
Zn	37	56(14)	160	43	61(12)	91
Zr	118	201(64)	364	190	223(17)	276
Nb	20	28(3)	35	16	21(2)	25
Y	11	19(4)	29	18	27(3)	42
V	83	123(17)	161	101	127(10)	164

Aus den Variationsdiagrammen geht weiter eine gewisse Sonderstellung der Fundgruppe Bina (Stall) hervor. In fast allen Abbildungen belegen ihre Probenpunkte ein Feld, das sich mehr oder weniger deutlich innerhalb der Hauptgruppe II absetzt. Diese Sonderstellung der Proben von Bina (Stall) ist dadurch zu erklären, daß diese Irdenware aus lokalem Ton von der Bina (siehe auch Kap. 8.1.3.) hergestellt wurde. Zur Produktion der Irdenware von Bina (Garage), die ins Feld der Hauptgruppe I fällt, wurde hingegen importierter "Kröninger" Ton verwandt. Diese Deutung stimmt mit der schriftlichen Überlieferung überein, daß ab dem 19. Jahrhundert die Hafner an der Bina ihren Ton aus dem "Kröning" bezogen haben (von Obernberg 1816).

8.1.1.2. Clusteranalyse der Kröninger Irdenware

Die Möglichkeiten, Gruppen anhand von Variationsdiagrammen zu erkennen, sind – wie gezeigt – sehr eingeschränkt, da nur wenige Variablen gleichzeitig zu einer Klassifizierung beitragen. Um alle zur Verfügung stehenden Variablen zugleich zu berücksichtigen, wurde die multivariate Methode der Clusteranalyse angewandt. Aus der Vielzahl der unterschiedlichen Verfahren zur Clusteranalyse wurde das Verfahren nach "Ward", das "average linkage" und das "single linkage" Verfahren gewählt. Dabei wurde versucht, so weit wie möglich die Randbedingungen zur Anwendung der Clusteranalyse zu erfüllen, d.h. es wurden die Variablen auf die Normalverteilung hin überprüft, standardisiert und auch Korrelationen unter den Variablen wurden beseitigt (siehe Kap.6).

Die Häufigkeitsverteilungen der Elemente (Abb.35) zeigen, daß nur in wenigen Fällen die Elemente normalverteilt sind. Teilweise handelt es sich um zweigipfelige Verteilungen und bei MnO sowie P₂O₅ um stark einseitige Verteilungen. Durch logarithmische Transformation wurden die Elemente, die nicht normalverteilt sind, einer Normalverteilung angeglichen. SiO₂, P₂O₅ und MnO, Sr und Na₂O wurden nicht in die Clusteranalyse einbezogen. Damit die Variablen unkorreliert in die Clusteranalyse eingehen, wurde eine Hauptkomponentenanalyse (siehe Kap. 6.2.) durchgeführt. An die Stelle der Variablen treten nun die Werte der Hauptkomponenten. Neben den oben genannten hierarchischen Verfahren wurde auch das Programm RELOCATE des Programmpaketes CLUSTAN (Wishard 1982) angewendet, um eventuell eine bessere Gruppeneinteilung zu erhalten. Die Ergebnisse werden in Form von Dendrogrammen dargestellt, zum Teil jedoch aufgrund der großen Probenanzahl nur in vereinfachter Form.

Clusteranalyse aller Proben

Zunächst wurde eine Clusteranalyse mit den Meßwerten aller Proben nach der Methode von Ward mit unkorrelierten, standardisierten Variablen durchgeführt. Das Ergebnis (Abb.36) zeigt eine gute Trennung aller Proben in die zwei in Kapitel 8.1.1 definierten Hauptgruppen I und II. Die Gruppentrennung ist nahezu vollständig. Wie auch bei den Variationsdiagrammen liegen in der Hauptgruppe II fast ausschließlich reduzierend gebrannte Proben, während sich Hauptgruppe I aus Proben beider Brenntechnologien zusammensetzt.

Alle oxidierend gebrannten Proben der Hauptgruppe II werden von der Clusteranalyse dem Feld der Hauptgruppe I zugeordnet und sind damit als "Ausreißer" anzusprechen. Es handelt sich um die Proben B4AW, B4AH, BA11 – BA15, BB1, BB2, B13A, HC1, H4A, H6A, H7A. Anders verhält es sich mit den Proben J6S, BA6. Sie sind reduzierend gebrannte Proben der Hauptgruppe II und fallen ins Feld der Hauptgruppe I. Die Gruppe von vier Proben aus der Hauptgruppe II (B3AH, BA1, B15A, BB9), die sich durch extreme Unterschiede in den Elementgehalten auszeichnet, sondert sich auch hier ab. Sie wird von nun an als "Extremgruppe" bezeichnet.

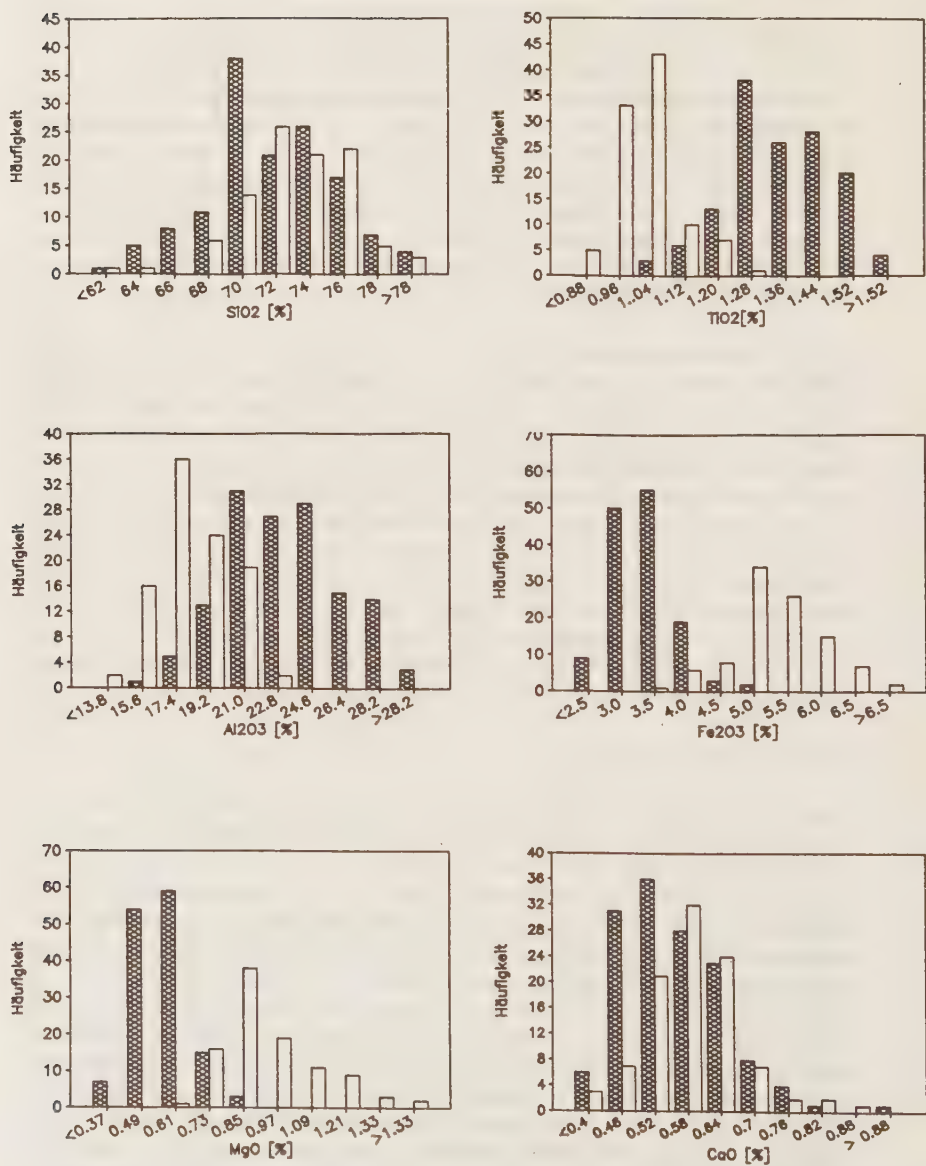


Abb. 35: Häufigkeitsverteilung der Elemente

▨ Hauptgruppe I

□ Hauptgruppe II

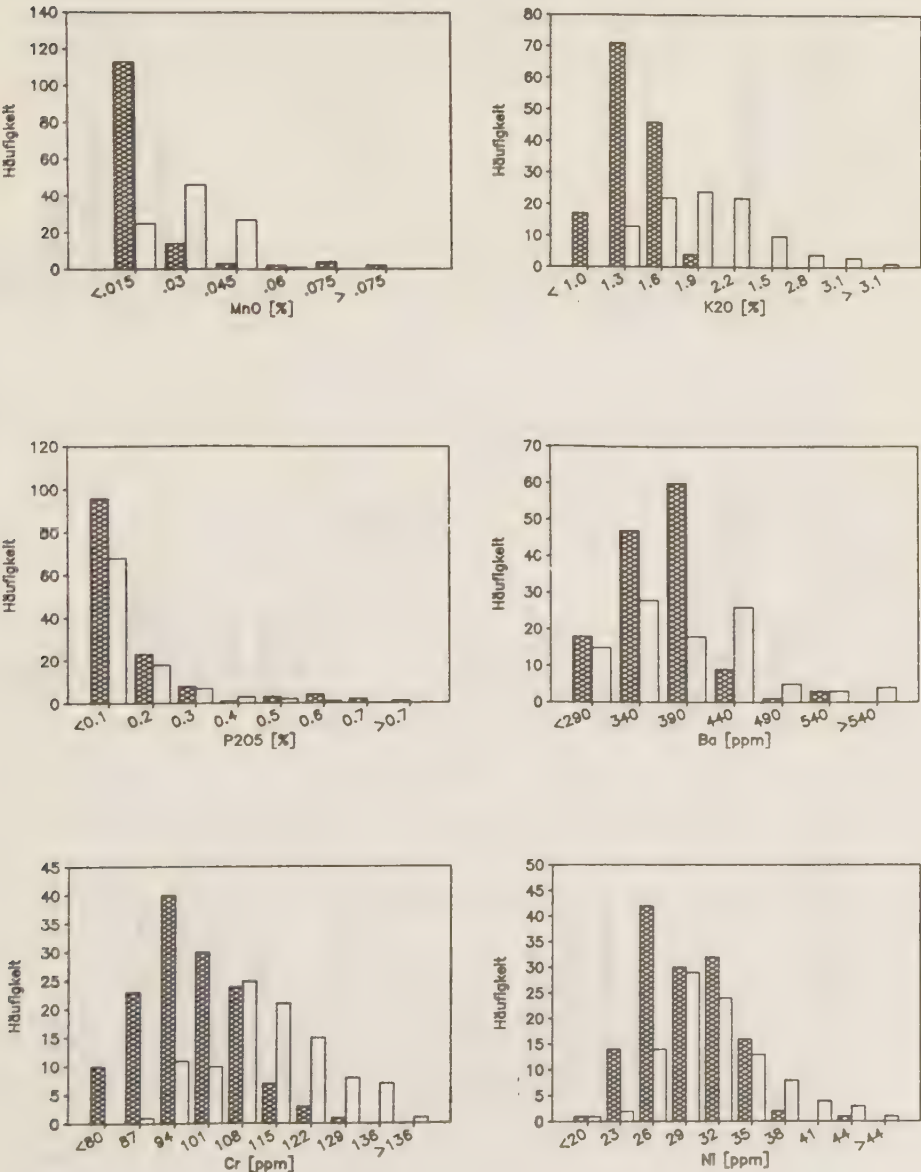


Abb. 35: Häufigkeitsverteilung der Elemente

▨ Hauptgruppe I

□ Hauptgruppe II

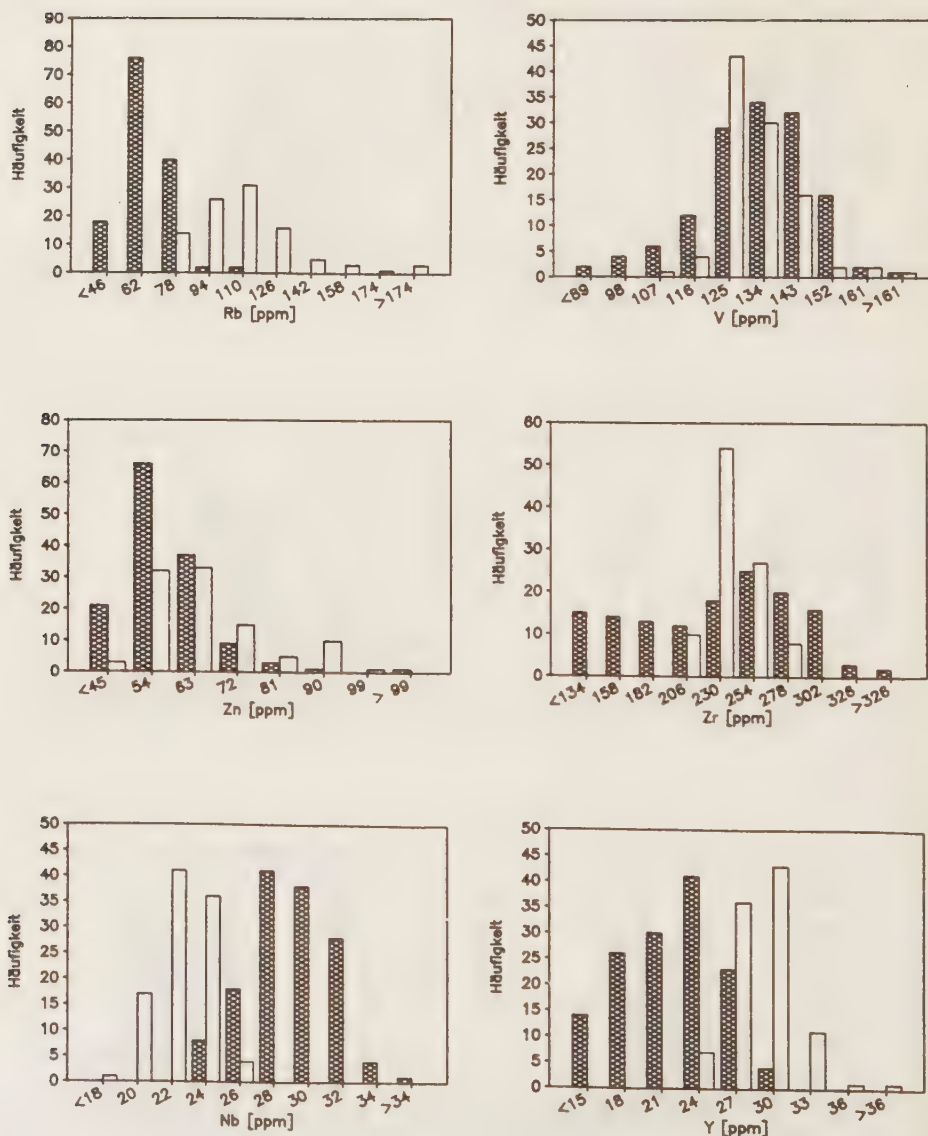


Abb. 35: Häufigkeitsverteilung der Elemente

▨ Hauptgruppe I

□ Hauptgruppe II

Mit der Prozedur RELOCATE zeigt sich ein nahezu identisches Bild bis auf zwei Ausnahmen. Die Probe J6S wird wieder in Hauptgruppe II und die Probe BB8 in Hauptgruppe I gestellt. Dies wird als ein Hinweis in der Beziehung gewertet, daß das Verfahren nach Ward ein vertrauenswürdiges Ergebnis liefert.

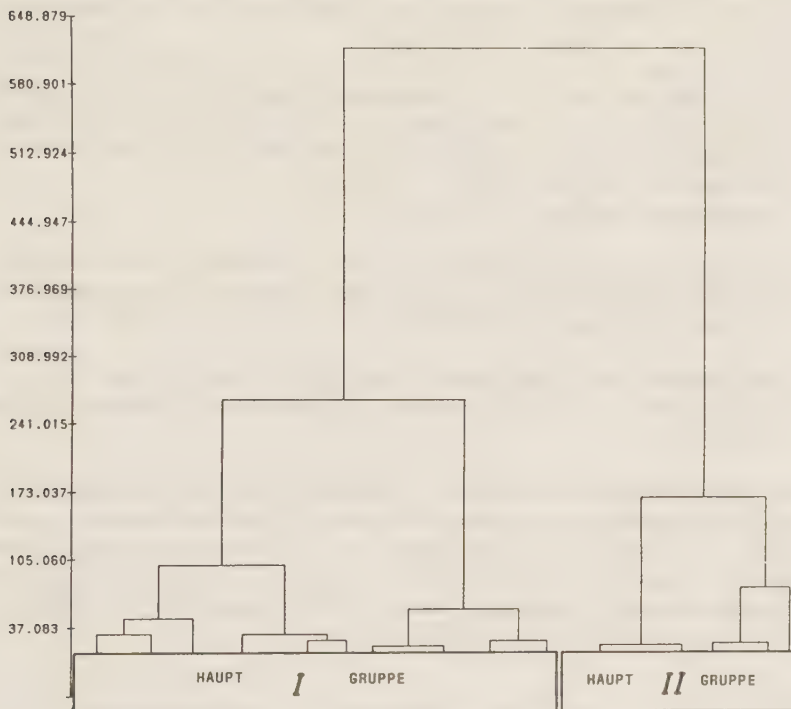


Abb. 36: Clusteranalyse aller Fundgruppen (328 Proben) von Kröning und Bina (nach Ward)

Zum Vergleich hierzu wurden die Verfahren "single linkage" und "average linkage" gerechnet (beide ohne Abbildung). Die zuerst genannte Methode liefert ein etwas anderes Ergebnis als die Methode nach Ward. Sie trennt die oben definierten Hauptgruppen I und II nicht als zwei Blöcke, sondern als vier Blöcke voneinander, wobei innerhalb der Blöcke keine Fehlzuordnungen im Sinne der ersten Definition der Gruppen vorkommen. Das Resultat des "average linkage" - Verfahrens ähnelt weitgehend dem Ergebnis der Methode nach Ward. Der einzige Unterschied besteht darin, daß die Proben HUS4 und HUS12, die durch hohe Zn - Gehalte auffallen, eine eigene kleine Gruppe bilden und daß sich die "Extremgruppe" erst ganz zum Schluß auf dem geringsten Ähnlichkeitsniveau mit den anderen Clustern zusammenschließt. Das Programm RELOCATE kommt immer zum selben Ergebnis wie oben.

Als Ergebnis der Clusteranalyse der Fundgruppen kann also folgendes festgehalten werden:

- Die Kröninger Irdenware läßt sich in zwei Hauptgruppen aufteilen, die aus den gleichen Fundgruppen wie in Kapitel 8.1.1.1 besteht.
- Als "Ausreißer", d.h. als Proben, bei denen die Zugehörigkeit zu einer Fundgruppe sich von der zu einer Hauptgruppe unterscheidet, wurden folgende Proben erkannt: B4AW, B4AH, BA11 - BA15, B13A, HC1, H4A, H6A, H7A, BB1, BB2, B13A. Bei den Proben B21G, B22G, B25G, BA6, BB8 und J6S handelt es sich um Proben, die nur mit Unsicherheit einer der beiden Hauptgruppen zugeordnet werden können.
- Die Proben B3AH, BA1, B15A und BB9 (Extremgruppe) weichen in den Elementkonzentrationen stark von den anderen Proben der Hauptgruppe I und II ab und bilden immer ein eigenes Cluster im Feld der Hauptgruppe II.
- Das Verfahren nach Ward hat sich als das beste Verfahren erwiesen, da es ein Ergebnis liefert, das durch das Programm RELOCATE am wenigsten verändert wird.

Mit Hilfe der Clusteranalyse gelingt es ebenso wie anhand von Variationsdiagrammen, die Fundgruppen der Kröninger Irdenware in zwei Hauptgruppen zu gliedern. Ob es darüber hinaus auch möglich ist, die einzelnen Fundgruppen innerhalb der Hauptgruppen zu trennen, wird im folgenden untersucht. Hierzu wurden Clusteranalysen der Hauptgruppe I und II, der Fundgruppen Hub, Kleinbettenrain (Wurzer) und Jesendorf (Wippenbeck) gerechnet.

Clusteranalyse der Hauptgruppe I

Es ist eine deutliche Cluster-Bildung zu erkennen (Abb. 37), die jedoch nicht einer Gliederung nach Fundgruppen entspricht. Es gibt gewisse Bereiche, in denen die Proben einzelner Fundgruppen vorherrschen; insgesamt jedoch bleibt eine Überlappung, die eine Aufgliederung nach Fundorten oder Fundgruppen nicht vertreten läßt.

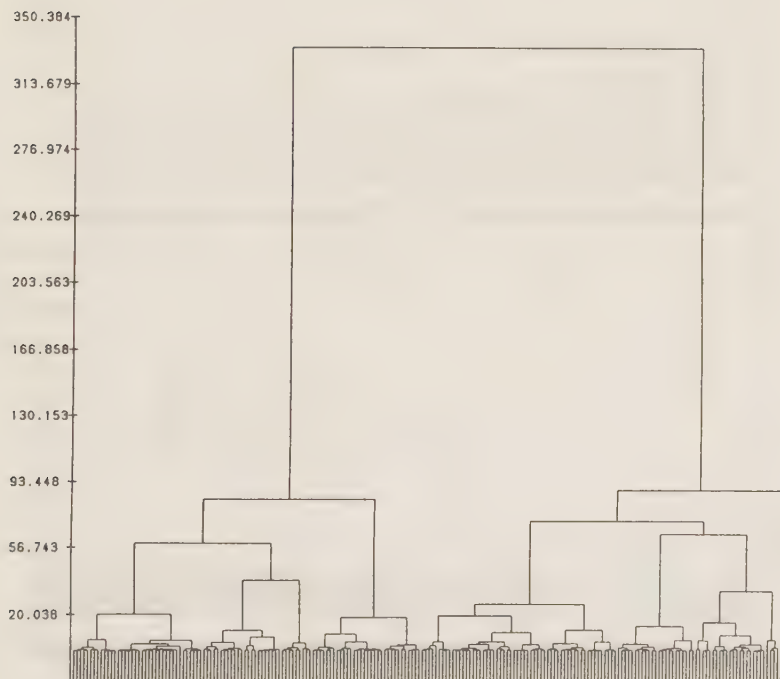


Abb. 37: Clusteranalyse der Hauptgruppe I nach Ward (209 Proben)

Clusteranalyse der Hauptgruppe II.

Da aufgrund der hohen Probenanzahl die Unterschiede der drei benutzten Methoden, wie oben beschrieben, nur schwer dargestellt werden konnten, sind an dieser Stelle am Beispiel der Hauptgruppe II die Unterschiede der drei Clustermethoden in Form von Dendrogrammen dargestellt (Abb.38, 39, 40). Die Methode nach Ward trennt die einzelnen Gruppen am besten, auch wenn Problemfälle auftreten. Gut zu unterscheiden sind die Bereiche der "Extremgruppe" und der "Ausreißergruppe" (bestehend aus Proben, die bei der Gesamtanalyse dem Feld der Hauptgruppe I zugeordnet wurden), eine Gruppe aus den Proben von Hundspoint und Jesendorf (Schickerbauer) und die Gruppe Bina (Stall).

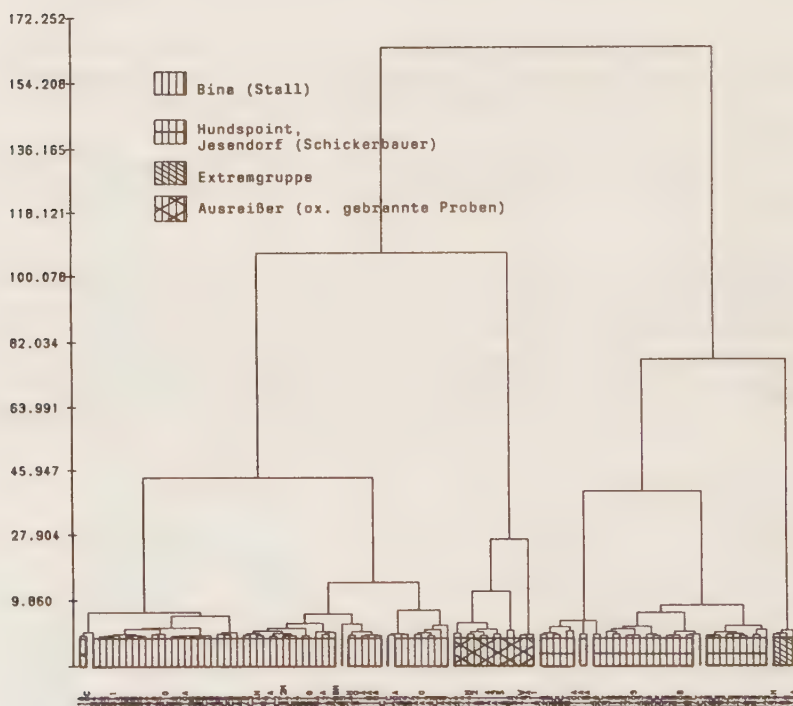


Abb. 38: Clusteranalyse der Hauptgruppe II: nach Ward (119 Proben)

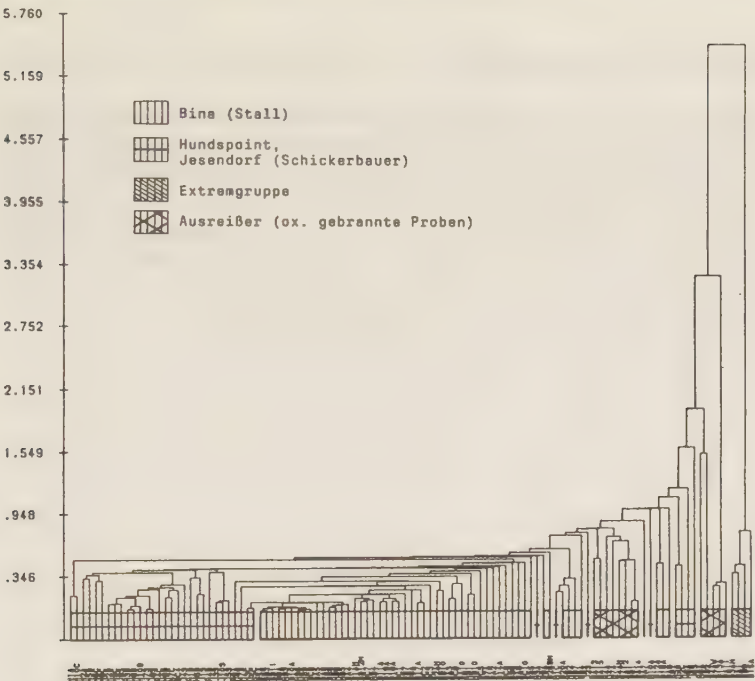


Abb. 39: Clusteranalyse der Hauptgruppe II: **single linkage** (119 Proben)

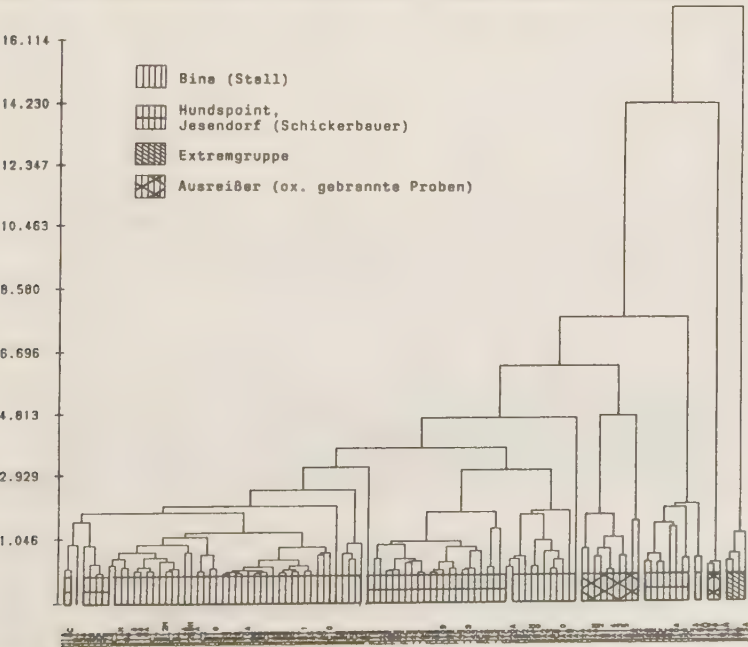


Abb. 40: Clusteranalyse der Hauptgruppe II: **average linkage** (119 Proben)

Clusteranalyse der Fundgruppe Jesendorf (Wippenbeck):

Es findet keine Cluster – Bildung nach der Brennführung in reduzierend gebrannte und oxidierend gebrannte Ware statt. Die große chemische Ähnlichkeit zwischen Henkel und Wandung ein und desselben Gefäßes ist jedoch deutlich zu erkennen. In Abbildung 42 sind Henkel und Wandung desselben Gefäßes über "Brücken" miteinander verbunden.

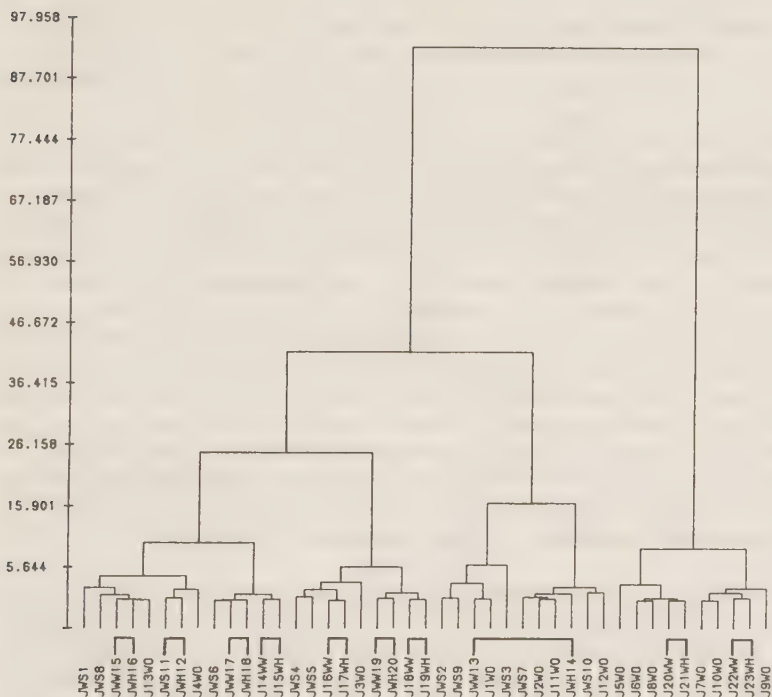


Abb. 42: Clusteranalyse der Fundgruppe Jesendorf Wippenbeck nach Ward
H / ..H.. – Henkelproben W / ..W.. – Proben aus der Wandung

Diskussion

Aus den Dendrogrammen der Clusteranalyse wird deutlich, daß diese Methode geeignet ist, eine gute, aber nur grobe Einteilung in unsere Fundgruppen zu treffen. So gelingt es zwar die Hauptgruppe II, nicht jedoch die Hauptgruppe I entsprechend der Fundgruppen zu gliedern.

Die Clusteranalyse ist ein gutes Verfahren, um eventuelle "Ausreißer" zu erkennen. Von Bedeutung ist das Kennen der "Ausreißer" für die Diskriminanzanalyse, bei der man charakteristische Proben zur Gruppendefinition vorgeben muß, was umgekehrt bedeutet, daß keinesfalls "Ausreißer" dazu benutzt werden dürfen. Sie würden eine scharfe Gruppendefinition im Sinne der Diskriminanzanalyse verhindern.

Hagn (1983, S.50) stellte fest, daß die Henkel der untersuchten Kröninger Irdenware aus einer anderen Tonmasse als der Rest des jeweiligen Gefäßes hergestellt wurden. Mit Hilfe der Clusteranalysen der Proben von Hub und Jesendorf (Wippenbeck) konnte jedoch gezeigt werden, daß dies von Fall zu Fall unterschiedlich ist und hier nur für die Proben der Fundgruppe Hub gilt. Ob es sich dabei um eine zusätzliche Magerung eines fetten Tones oder um die Verarbeitung eines von Natur aus magereren Tones handelt, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden. Die Clusteranalyse kann man dabei als Beleg dafür nehmen, daß es sich um einen anderen Ton handelt, welcher von beiden jedoch der magerere ist, der für die Henkel oder der für die Wandung, kann man damit nicht entscheiden. Daß der Ton für die Henkel, wie zu vermuten, der magerere ist, geht eindeutig aus den Einzelwerten der chemischen Analyse hervor. So zeigen alle Henkel im Vergleich mit den Wandungen höhere SiO_2 - bei niedrigeren Al_2O_3 - Konzentrationen. Die im Dendrogramm unmittelbar nebeneinander liegenden Werte für die Henkel und Wandungen desselben Gefäßes bei der Fundgruppe Jesendorf (Wippenbeck) sprechen dagegen für ein identisches Ausgangsmaterial bei beiden funktionalen Teilen. Dies bedeutet, daß bei der Herstellung sowohl der reduzierend wie auch der oxidierend gebrannten Irdenware von Jesendorf (Wippenbeck) das ganze Gefäß, also Henkel und Topf, aus demselben Arbeitston gefertigt wurden. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen untersuchten Töpfen ergeben sich einmal aus der Variation innerhalb der gerade bearbeiteten Tonmasse, zum anderen aus der chemischen Unterschiedlichkeit der verschiedenen Tonlieferungen.

Die Vermutung, daß zur Herstellung verschiedener Formen wie Teller, Topf oder Krug verschiedene Tone oder verschieden aufbereitete Tone benutzt wurden, läßt sich durch die Clusteranalyse nicht bestätigen. Zieht man beim Betrachten der Abbildungen 41 und 42 als weitere Variable die Gefäßform (Anhang I) hinzu, so wird deutlich, daß die verschiedenen Formen unregelmäßig über die beiden Diagramme streuen. Grob gemagerte Formen wie der "Essigkrug" oder der "Wassergrant" liegen zwar dicht beieinander, jedoch gemischt mit anderen Formen, so daß man nicht sagen kann, daß hierzu ein spezieller Ton benutzt wurde. Eine Trennung, wenn auch bei weitem keine vollständige, gibt es bei dem Fundort Hub aufgrund der Brennführung. Oxidierend und reduzierend gebrannte Irdenware finden sich zum Teil in getrennten Clustern. Ebenso liegen bei Jesendorf (Wippenbeck) fast alle glasierte Proben (Ausnahme J3WO) in einem eigenen Cluster. Die glasierten Proben zeigen höhere SiO_2 - und Zr - Gehalte bei niedrigeren Al_2O_3 -, K_2O - und Fe_2O_3 - Gehalten als die unglasierten Proben. Eine unterschiedliche Rohstoffauswahl und /oder -aufbereitung scheint in erster Linie aufgrund der Fragestellung des Hafners - wird oxidierend oder reduzierend gebrannt, wird glasiert oder nicht glasiert - erfolgt zu sein.

8.1.1.3. Diskriminanzanalyse der Kröninger Irdenware

Nach unseren Ergebnissen kann auch die Clusteranalyse die verschiedenen Fundgruppen nicht scharf trennen. Das einzige Verfahren, das hier Erfolg verspricht, ist die Diskriminanzanalyse. Diese charakterisiert die definierten Gruppen anhand ihrer chemischen Zusammensetzung und berechnet Diskriminanzfunktionen, mit deren Hilfe unbekannte Proben den vorher definierten Gruppen zugeordnet werden können.

Mit der Diskriminanzanalyse wurde zum einen versucht, die verschiedenen Fundgruppen optimal zu trennen und aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung zu charakterisieren; zum anderen wurden unbekannte Proben mit größtmöglicher Wahrscheinlichkeit einer der Fundgruppen zugeordnet.

Zur Definition der einzelnen Fundgruppen wurden nur die Proben benutzt, deren Zugehörigkeit zu der jeweiligen Fundgruppe durch alle bisherigen Untersuchungen bestätigt werden konnte. Alle "Ausreißer", die Proben der Extremgruppe, die Proben J6S, BA6, B4G, HUS4, HUS12 und die reduzierend gebrannten Proben von Bina (Garage) wurden zur Berechnung der Diskriminanzfunktionen nicht herangezogen.

Es werden als "a priori" Gruppen vorgegeben:

Fundgruppe	Abkürzung
Kleinbettenrain (Winterstetter)	KW
Kleinbettenrain (Wurzer)	KL
Jesendorf (Eder)	JE
Jesendorf (Wippenbeck)	JW
Jesendorf (Schickerbauer)	JS
Bina (Stall)	BA
Bina (Garage)	BG
Hundspoint	H
Hub	Hub

Weiter Untergliederungen sind:

Fundort Hub in die Fundgruppen:

- HUC - Fundgruppe Hühnerstall, oxidierend gebrannt
- HUS - Fundgruppe Hühnerstall, reduzierend gebrannt
- HUB - Fundgruppe Hof

Fundort Kleinbettenrain (Wurzer) in die Fundgruppen:

- KA - Fundstelle 1
- KB - Fundstelle 2
- KC - Fundstelle 3
- KD - Fundstelle 4
- KE - Fundstelle 5

Diskriminanzanalyse aller Fundgruppen

Die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse, in die alle Fundgruppen ohne Ausreißer eingehen, sind in Abbildung 43 und in Tabelle 10 dargestellt. Die Grobaufteilung in die zwei Hauptgruppen wird wieder bestätigt. Die wenigen "Fehlzuordnungen" fallen immer in eine Fundgruppe, die zur selben Hauptgruppe gehört. In Abbildung 43 ist neben der Aufteilung in die Hauptgruppen I und II eine weitere Aufteilung der Hauptgruppe I in zwei Untergruppen zu erkennen, die deutlich voneinander getrennt werden können. In die Hauptgruppe Ia fallen die Proben von Kleinbettenrain, Jesendorf (Eder) und Bina (Garage), während die Hauptgruppe Ib sich aus den Proben von Hub und Jesendorf (Wippenbeck) zusammensetzt. Allen "a priori" Gruppen werden bis auf Bina (Stall) und Jesendorf (Schickerbauer) Proben von anderen Fundorten zugeordnet.

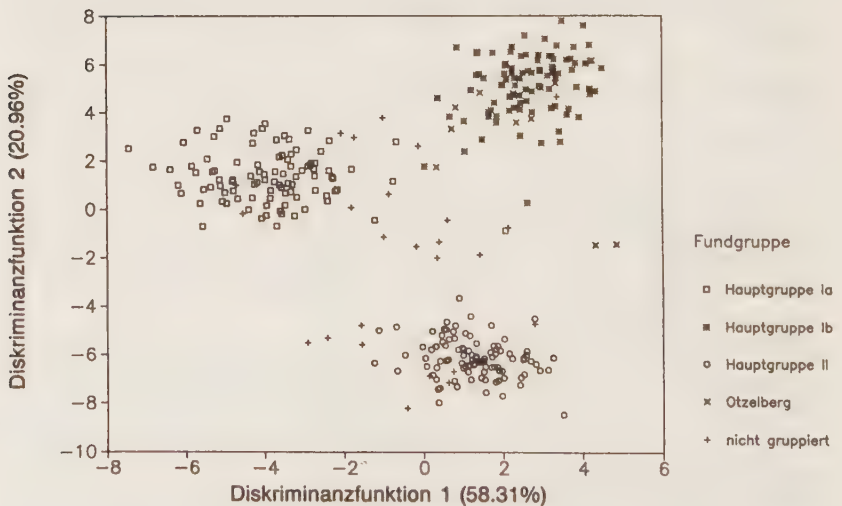


Abb. 43: Variationsdiagramm der beiden ersten Diskriminanzfunktionen der Diskriminanzanalyse aller Fundgruppen (79.27% der Gesamtvarianz): Gliederung in die Hauptgruppen Ia, Ib, II

Tabelle 10: Diskriminanzanalyse aller Fundgruppen

	KL	KW	H	JE	JS	JW	BG	BA	HUB	N
KL	49	1								50
KW	2	12		1						15
H			25		1			1		27
JE	3			9						12
JS					9					9
JW						42	1			43
BG	1			1			17			19
BA								64		64
HUB						1			51	52

Korrekte Klassifizierung : 95.5 %

Diskriminanzanalyse der Hauptgruppe I

Die Diskriminanzanalyse der Hauptgruppe I (Abb.44, Tabelle 11) erreicht etwa die gleiche Trennstärke wie die der Gesamtprobe. Eine Dreiteilung (Abb.44) in die sehr gut zu trennenden Fundgruppen Hub und Jesendorf (Wippenbeck) (Hauptgruppe Ib) und eine dritte Gruppe (Hauptgruppe Ia), die aus den Fundgruppen Kleinbettenrain (Wurzer) – KL, Kleinbettenrain (Winterstetter) – KW, Jesendorf (Eder) – JE und Bina (Garage) – BG besteht, ist zu erkennen.

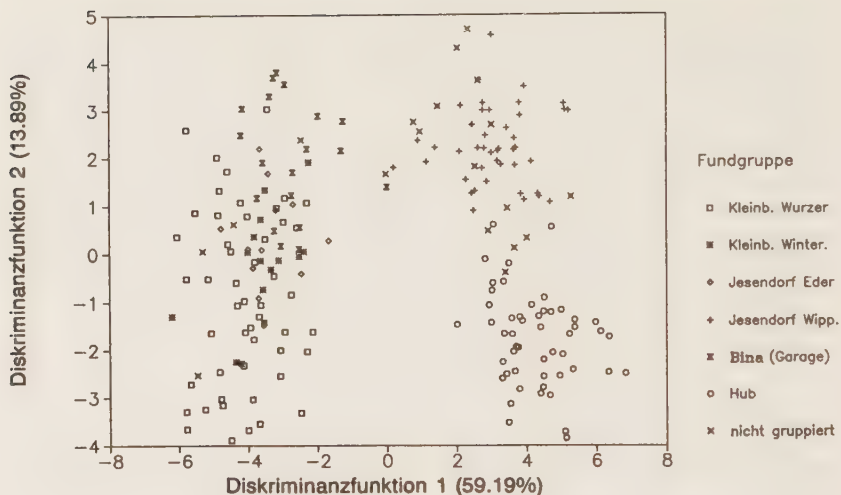


Abb. 44: Variationsdiagramm der beiden ersten Diskriminanzfunktionen der Diskriminanzanalyse der Hauptgruppe I (73.08% der Gesamtvarianz): Gliederung in die Hauptgruppen Ia und Ib

Tabelle 11 : Diskriminanzanalyse der Hauptgruppe I

	KL	KW	JE	JW	BG	HUB	N
KL	47		2		1		50
KW	2	12	1				15
JE	3		9				12
JW				42	1		43
BG	3				16		19
HUB						53	53

korrekte Klassifizierung : 93.3 %

Diskriminanzanalyse der Hauptgruppe Ia

Zur weiteren Aufgliederung der Hauptgruppe Ia wurde eine Diskriminanzanalyse (Abb. 45, Tabelle 12) durchgeführt. Obwohl die Trennung bis auf Jesendorf (Eder) recht gut ist, gibt es immer noch Überlappungen bei den Fundgruppen. Alleine die reduzierend gebrannten Proben von Kleinbettenrain (Winterstetter) – im Abbildung 45 nicht unterschieden – setzen sich deutlich ab.

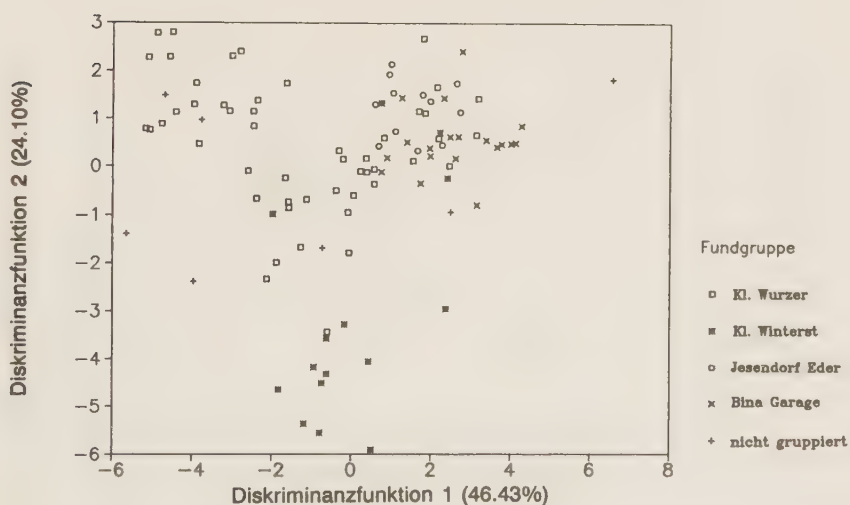


Abb. 45: Variationsdiagramm der beiden ersten Diskriminanzfunktionen der Diskriminanzanalyse der Hauptgruppe Ia (70.53% der Gesamtvarianz)

Tabelle 12 : Diskriminanzanalyse der Hauptgruppe Ia

	KL	KW	JE	BG	N
KL	49		1		50
KW	1	14			15
JE	2	1	9		12
BG	1			18	19

korrekte Klassifizierung : 93.7 %

Diskriminanzanalyse der Hauptgruppe II

Die Fundgruppen Hundspoint, Jesendorf (Schickerbauer) und Bina (Stall) der Hauptgruppe II lassen sich sehr gut voneinander trennen (Abb.46). Sie werden mit 98% Wahrscheinlichkeit korrekt zugeordnet (Tab. 13).

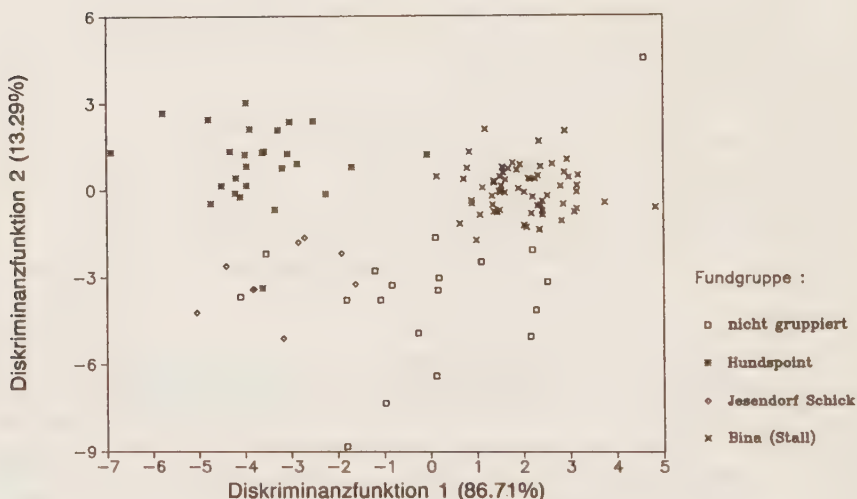


Abb. 46: Variationsdiagramm der beiden ersten Diskriminanzfunktionen der Diskriminanzanalyse der Hauptgruppe II

Tabelle 13 : Diskriminanzanalyse der Hauptgruppe II

	H	JS	BA	N
H	25	1	1	27
JS		9		9
BA			64	64

korrekte Klassifizierung : 98 %

Diskriminanzanalyse nach Werkstätten

Am Fundort Kleinbettenrain (Wurzer) und Hub konnte Irdenware aus mehreren Bruchgruben geborgen werden und somit ließ sich nachprüfen, ob verschiedene Bruchgruben innerhalb einer Werkstatt aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung zu unterscheiden sind. Die Diskriminanzanalyse der Proben der Werkstätten Hub und Kleinbettenrain (Wurzer) bestätigt diese Vermutung (Abb. 47, 48 und Tab. 14, 15).

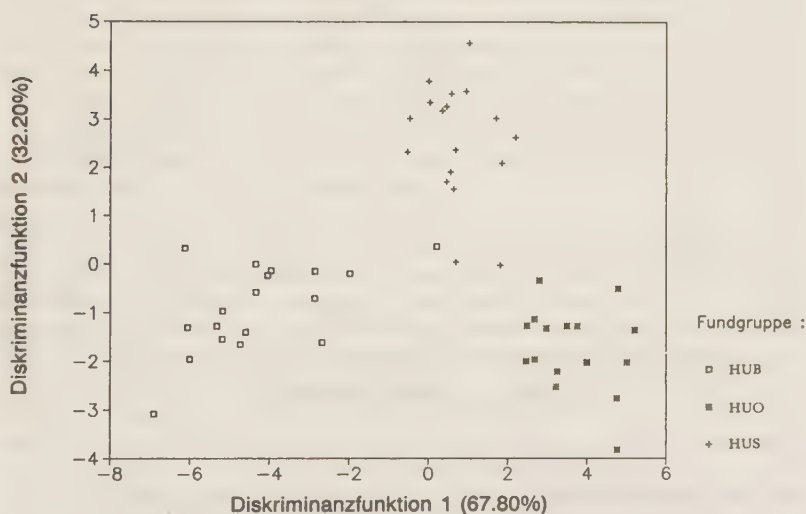


Abb. 47: Variationsdiagramm der beiden ersten Diskriminanzfunktionen der Diskriminanzanalyse der Werkstatt Hub

Tabelle 14 : Diskriminanzanalyse der Werkstatt Hub

	HUB	HUO	HUS	N
HUB	18			18
HUO		17		17
HUS		1	17	18

korrekte Klassifizierung : 98 %

Bei einer korrekten Klassifizierung von jeweils etwa 98 % können die verschiedenen Werkstattbruchgruben von Kleinbettenrain (Wurzer) und im Falle der Werk-

statt Hub zwei Gruppen innerhalb einer Bruchgrube deutlich unterschieden werden. Während bei der Werkstatt Hub diese Unterscheidungsmöglichkeit anhand von äußeren Kriterien schon zum Teil gegeben war (siehe Fundbeschreibung in Kapitel 4), ließ sich von der Irdenware der Werkstatt Kleinbettenrain (Wurzer) nur die Fundstelle 1 von den Fundstellen 2 bis 5 aufgrund äußerer Kriterien trennen.

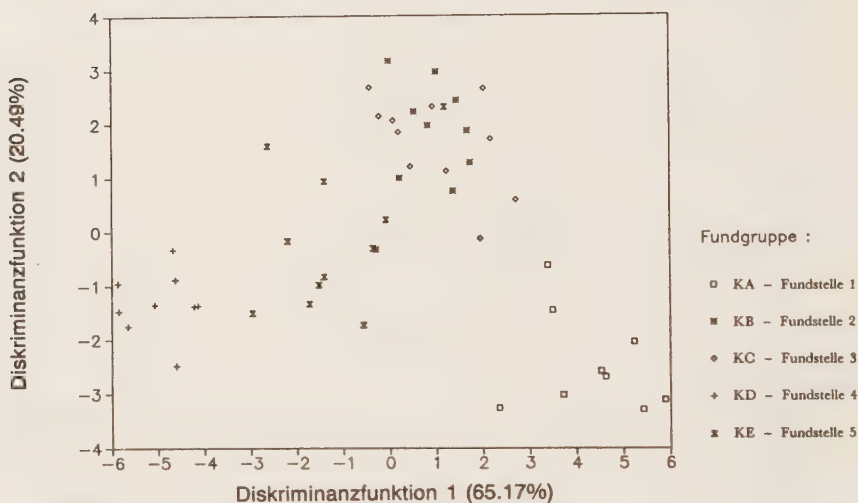


Abb. 48: Variationsdiagramm der beiden ersten Diskriminanzfunktionen der Diskriminanzanalyse der Werkstatt Kleinbettenrain (Wurzer) (85.66% der Gesamtvarianz).

Tabelle 15 : Diskriminanzanalyse der Werkstatt Kleinbettenrain (Wurzer)

	KA	KB	KC	KD	KE	N
KA	9					9
KB		10				10
KC			11			11
KD				9		9
KE		1			10	11

korrekte Klassifizierung : 98 %

Am Fundort Hundspoint wurden bei der Bergung einer Fundgrube drei Schichten unterschieden. Diese Schichten konnten auch durch eine Diskriminanzanalyse nicht getrennt werden, was für eine ähnliche chemische Zusammensetzung aller drei Schichten spricht.

Diskussion

Die Diskriminanzanalyse ist eine sehr trennungsstarke, empfindliche statistische Methode. Mit ihr gelingt es nicht nur mit hoher Wahrscheinlichkeit neun Fundgruppen zu trennen, sondern selbst innerhalb einer Werkstatt Bruchgruben voneinander zu unterscheiden. Der Diskriminanzanalyse gelingt es jedoch nicht die drei von den Ausgräbern unterschiedenen Schichten des Fundortes Hundspoint zu unterscheiden. Hier stößt die Diskriminanzanalyse an ihre Grenzen, die ihr von der chemischen Variationsbreite der vorgegebenen Gruppen gesteckt sind. Sie kann nur chemisch unterschiedliche Gruppen, mag der Unterschied noch so klein – aber signifikant – sein, unterscheiden.

Diese chemische Unterscheidung anhand äußerer Kriterien gut definierter Gruppen ermöglicht es, einen unbekannten Scherben einer Kröninger Werkstatt zuzuordnen. Bei Kenntnis der Werkstatt kann dieser sogar einer bestimmten Fundstelle zugeordnet werden. Lassen sich zudem die verschiedenen Fundstellen anhand formaler Kriterien oder anderer Beifunde datieren, so besitzen wir ein Instrument, durch chemische Analysen eine Irdenware zu datieren. Da die dazu erforderliche sichere Zuordnung zu einer bestimmten Werkstatt zur Zeit nur in Einzelfällen möglich ist, wäre die aufgezeigte Möglichkeit einer chemischen Datierung neben einer sicheren Zuordnung zu einer Werkstatt als ein Fernziel archäometrischer Untersuchungen an Kröninger Irdenware anzusehen. Voraussetzung dazu wäre die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung **aller** Kröninger Fundgruppen. Diese Vorbedingung ist sicher nicht zu erfüllen. Somit bleibt nur der Weg über die Referenzgruppen (siehe Kap. 10).

Welchen Beitrag leisten die verschiedenen Elemente zur Gruppentrennung?

Durch Multiplikation der standardisierten Diskriminanzfunktionskoeffizienten mit dem relativen Eigenwertanteil dieser Funktionen ist es möglich (Kap.6.2.2.), die Bedeutung der chemischen Elemente für die Trennung der einzelnen Gruppen (Hauptgruppen bzw. Fundgruppen) zu ermitteln. Unter den acht wichtigsten Elementen (Tab.16) tauchen alle zur Berechnung benutzten Variablen bis auf MnO auf. Danach leisten fast alle Elemente einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zumindest bei einer der Berechnungen. Al_2O_3 diskriminiert am besten; denn mit dem Tonmineralgehalt (speziell dem Kaolinitgehalt, dem Al-reichsten Tonmineral) eines Arbeitstones verändert sich die Al_2O_3 -Konzentration signifikant. Ebenso besitzen bei der Diskriminanzanalyse der Hauptgruppe II Rb und K_2O die größte Bedeutung, da diese Variablen stark mit dem Gehalt an Illit im benutzten Ton korrelieren.

Tabelle 16: Rangfolge der acht wichtigsten Elemente für die Diskriminanzanalysen aus Kapitel 8.1.1.3. (in Klammern Diskriminanzfunktionskoeffizient mal Eigenwertanteil)

Alle Fundgruppen	Hauptgruppe I	Hauptgruppe II
Al ₂ O ₃ (116)	Al ₂ O ₃ (111)	Rb (186)
V (81)	V (100)	K ₂ O (158)
Zr (55)	Nb (80)	TiO ₂ (77)
Y (50)	TiO ₂ (70)	V (67)
Rb (41)	Rb (70)	CaO (59)
TiO ₂ (37)	Zr (69)	Fe ₂ O ₃ (59)
Cr (37)	Ni (65)	Al ₂ O ₃ (53)
Fe ₂ O ₃ (36)	Fe ₂ O ₃ (64)	Ba (52)
Hub	Kleinbettenrain	
TiO ₂ (205)	Al ₂ O ₃ (157)	
Al ₂ O ₃ (151)	V (97)	
Nb (123)	K ₂ O (94)	
Zr (110)	Zn (58)	
Ni (94)	Y (52)	
CaO (90)	CaO (42)	
Rb (80)	Zr (36)	
V (76)	MgO (34)	

Nach den Angaben der Tabelle 16 ist es nicht möglich, wenige Elemente als allein bestimmend für eine Gruppentrennung zu erkennen. So ist es auch in Zukunft zur chemischen Beschreibung von Kröninger Irdenware nötig, das ganze in dieser Studie betrachtete Elementspektrum bis auf P₂O₅ und MnO zu messen. Dies gilt umso mehr für unbekannte Irdenware und Keramik anderer Produktionszentren, die in eine Diskriminanzanalyse einbezogen werden.

8.1.2. Röntgenfluoreszenzanalytik der "Vergleichsproben"

Aufgrund der chemischen Elementanalytik ist es mit Hilfe multivariater statistischer Methoden möglich (Kap. 8.1.1.), Proben gesicherter Herkunft in gut unterscheidbare Gruppen zu trennen. Fraglich bleibt, wie gut diese Trennung ist, die auf kleinen Stichproben im Vergleich mit der Gesamtheit der Kröninger Irdenware beruht. Anhand von "Vergleichsproben" wird im folgenden die Brauchbarkeit der chemischen Gruppenzuordnung überprüft.

Zu den Vergleichsproben (siehe auch Anhang I) werden gerechnet:

- Proben, die aus dem Kröning stammen, aber keiner oben definierten Fundgruppe sicher zugeordnet werden können: Dörfel (Feld), Dörfel (Haus), Hundspoint, Kleinbettenrain.
- Proben von Werkstätten oder andere Proben, die nur in geringer Stückzahl untersucht wurden und deshalb nicht zu einer statistischen Interpretation hinzugezogen werden dürfen: Öd, Hundspoint Ox (oxidierend gebrannt), Hundspoint SK (= Schüsselkachel).
- Vergleichsproben vom Rande des Kröning: Gschaid, Vilsbiburg 18, Vilsbiburg 33.
- Vergleichsproben von außerhalb des Kröning: Regensburg (Prebrunn). Diese Proben sind allein aufgrund äußerer Kriterien von denen des Kröning eindeutig zu unterscheiden. Sie wurden deshalb hinzugezogen, da ein äußerer Unterschied nicht auch einen chemischen mit sich bringen muß.

8.1.2.1. Variationsdiagramme

Um die Vergleichsproben in den Rahmen der Hauptgruppen I und II einordnen zu können, wurde ihre Zuordnung zu diesen Gruppen anhand von zwei Variationsdiagrammen (Abb.49, Abb.50) getroffen, die aufgrund von Elementanalysen (Kap. 8.1.1.) die beste Trennung ergaben. In diesen Abbildungen sind die Konzentrationsfenster der zur Definition der Hauptgruppen I und II benutzten Proben eingetragen. Die Proben Hundspoint Ox, Kleinbettenrain und Gschaid fallen immer ins Feld der Hauptgruppe I, und die Proben Hundspoint, Hundspoint SK immer in die Hauptgruppe II. Von den Proben der Gruppe Dörfel (Haus) fallen die oxidierend gebrannten in die Hauptgruppe I und die reduzierend gebrannten in die Hauptgruppe II, was vermuten läßt, daß es sich bei diesem Fund um Keramik handelt, die mit den Fundgruppen Bina (Stall) und Bina (Garage) vergleichbar ist. Die Proben von Vilsbiburg 18 und Vilsbiburg 33 wie auch aus Öd liegen zwar schwerpunktmäßig in einem Feld, eine sichere Zuordnung zu einer Hauptgruppe ist jedoch mit den Variationsdiagrammen nicht möglich.

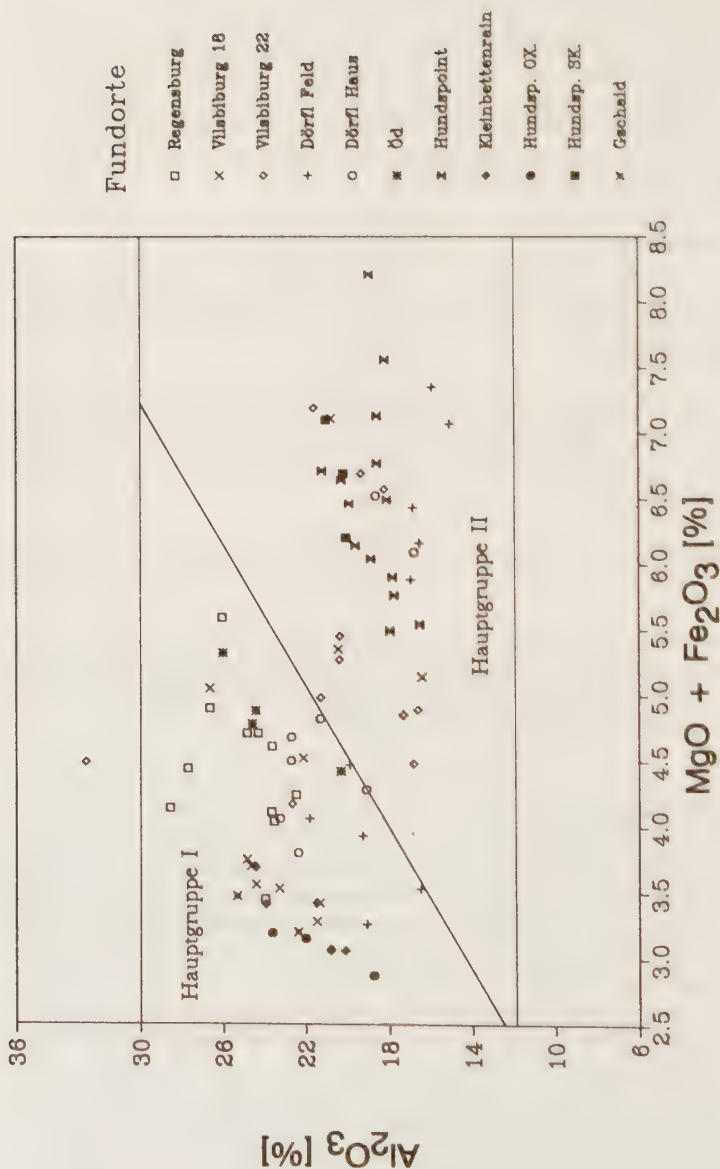


Abb. 49: Variationsdiagramm Al_2O_3 / Fe_2O_3 + MgO der Vergleichsproben. Das Fenster entspricht der Variationsbreite der Kröninger Ierdenware (vgl.

Abb. 27)

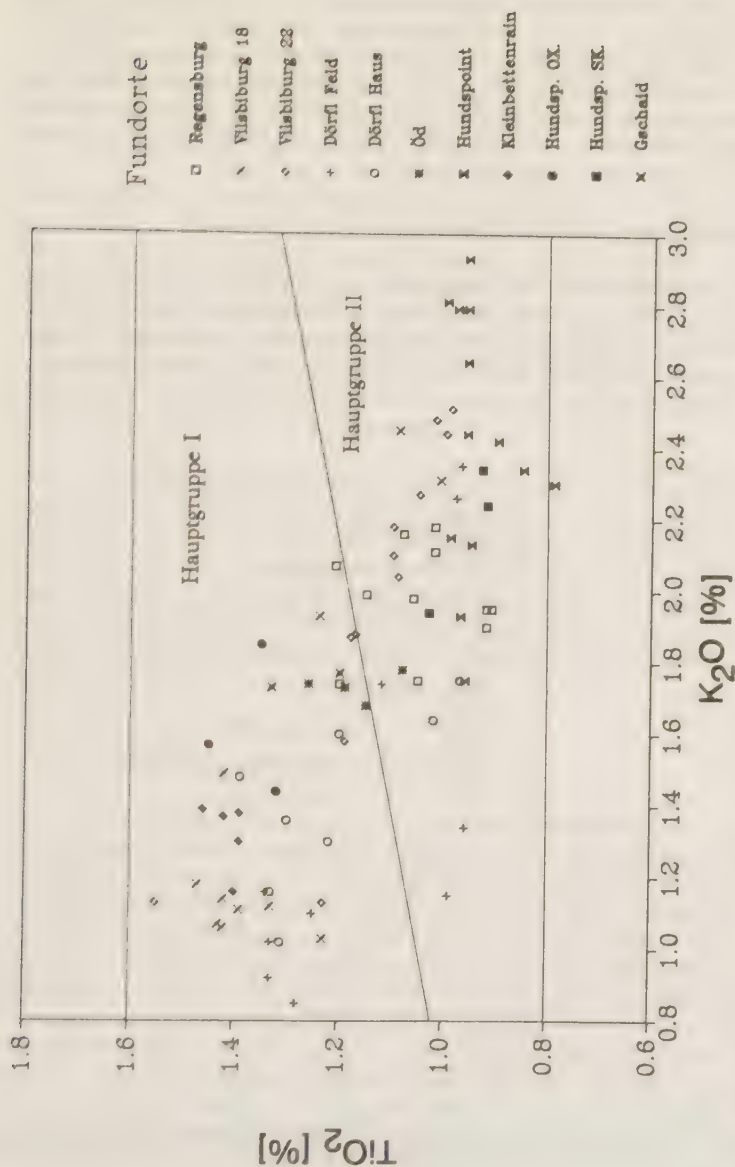


Abb. 50: Variationsdiagramm TiO_2 / K_2O der Vergleichsproben. Das Fenster entspricht der Variationsbreite der Kröninger Irdenware (vgl. Abb. 30)

Aus der Tatsache, daß die Proben aus Regensburg im Variationsdiagramm $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (Abb.49) im Feld der Hauptgruppe I und im Variationsdiagramm $\text{TiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ (Abb.50) im Feld der Hauptgruppe II liegen, geht hervor, daß es sich nicht um Ware handelt, die aus Kröninger Ton hergestellt wurde. Obwohl die Gesamtkonzentrationen immer im Rahmen der für den Kröning typischen Variationen bleiben, weist dieses unterschiedliche Verhalten eindeutig auf einen anderen Rohstoff, d.h. eine andere Herkunft, hin.

8.1.2.2. Clusteranalyse der Vergleichsproben

Wie schon die Clusteranalyse der Fundgruppen, so zeigt auch die Clusteranalyse der Vergleichsproben nach Ward (Abb.51) eine Aufteilung der Proben in zwei Hauptgruppen, die sich in sieben mehr oder weniger große Untergruppen (Cluster) aufgliedern lassen. Ein Cluster besteht aus Proben, die nicht aus dem Kröning

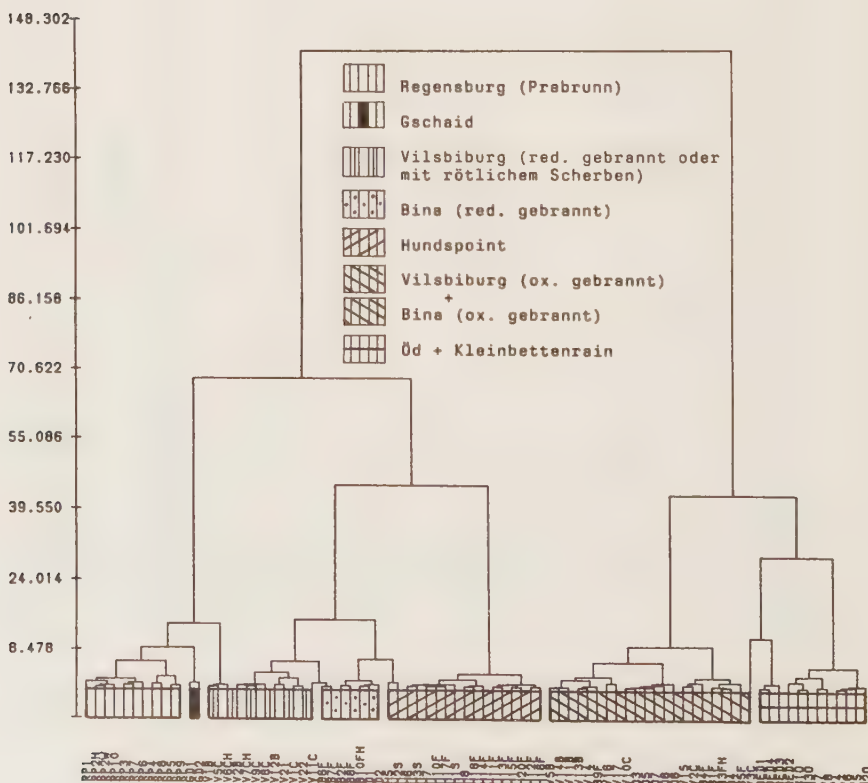


Abb. 51: Clusteranalyse der Vergleichsproben nach Ward

stammen (Proben aus Regensburg und Gschaid) und Proben aus Vilsbiburg (V1B, V5C, V6CH), die aus "schlechtem" Kröninger Ton hergestellt wurden. Wie die chemischen Analysen zeigen, besitzen die drei Proben aus Vilsbiburg im Vergleich mit allen untersuchten Kröninger Proben einen ungewöhnlich hohen Ni - Gehalt von über 60ppm (Kröning sonst: 29 ± 6 ppm) und auch ihr Gehalt an einigen anderen Elementen wie Mg und Nb ist ungewöhnlich. Sie sind somit als für den Kröning untypisch zu bezeichnen.

Im benachbarten Cluster schließen sich weitere Proben aus Vilsbiburg an, die durch einen rötlichen bis rotbraunen Scherben auffallen. Die Erzeugnisse der Hafner aus Vilsbiburg ähneln chemisch mehr der Irdeware von der Bina als der aus dem Kröning. In Abbildung 51 wird dies darin deutlich, daß die Proben von der Bina entweder mit Proben aus Vilsbiburg ein gemeinsames Cluster bilden oder aber mit diesen zusammen ein Cluster auf nächst höherem Ähnlichkeitsniveau bilden. Eigene Cluster bilden auch die reduzierend gebrannten Proben aus Hundspoint, sowie die Proben aus Öd zusammen mit denen aus Kleinbettenrain und der oxidierend gebrannten Ware aus Hundspoint.

Auf höherem Ähnlichkeitsniveau lassen sich drei Cluster unterscheiden. Cluster I entspricht den Proben von außerhalb des Kröning, d.h. Regensburg (Prebrunn), Gschaid und den drei erwähnten Proben aus Vilsbiburg. Cluster II entspricht der Hauptgruppe II und beinhaltet die reduzierend gebrannten Proben aus Hundspoint und von der Bina, wie auch die oben beschriebenen oxidierend gebrannten Proben aus Vilsbiburg. Cluster III entspricht der Hauptgruppe I und besteht aus den Proben aus Öd, Kleinbettenrain und den oxidierend gebrannten Proben aus Hundspoint, Vilsbiburg und von der Bina.

8.1.2.3. Diskriminanzanalyse der Vergleichsproben

Mit Hilfe der Diskriminanzanalyse, die von den in Kapitel 8.1.1. definierten Fundgruppen ausgeht, werden die Vergleichsproben einer dieser Fundgruppen zugeordnet. Der Nachteil dieser Methode liegt darin, daß jede Probe einer dieser "a priori" definierten Gruppen zugeordnet wird, auch wenn sie keiner angehört, wie das zum Beispiel für die Proben aus Regensburg gilt. Zum Ausdruck kommt ein solcher Unterschied lediglich im Wert der einzelnen Diskriminanzfunktionen für die jeweilige Probe. In Abbildung 52 sind die Probenpunkte für die Diskriminanzfunktion 1 und 2 dargestellt. Dabei wird deutlich, daß die Proben aus Regensburg wie diejenigen aus Gschaid, die dem Fundort Hub zugeordnet werden (Tab.17), getrennt von allen Kröninger Proben liegen. Das bedeutet, daß die Proben aus Regensburg und Gschaid als nicht zur Kröninger Irdeware gehörig anzusehen sind. Diese Feststellung, die für die Proben aus Regensburg aufgrund anderer Kriterien schon mit Sicherheit hätte getroffen werden können, bestätigt die Anwendbarkeit der multivariaten statistischen Verfahren bei Untersuchungen der Herkunft unbekannter und bekannter Keramik. Die Diskriminanzanalyse verteilt die Vergleichsproben auf die einzelnen Fundgruppen (Tab.17). Die Proben von Regensburg und Gschaid werden der Fundgruppe Hub zugeordnet, da sie dem Mittelpunkt der Proben aus Hub am nächsten liegen. Die Funktionswerte, die in

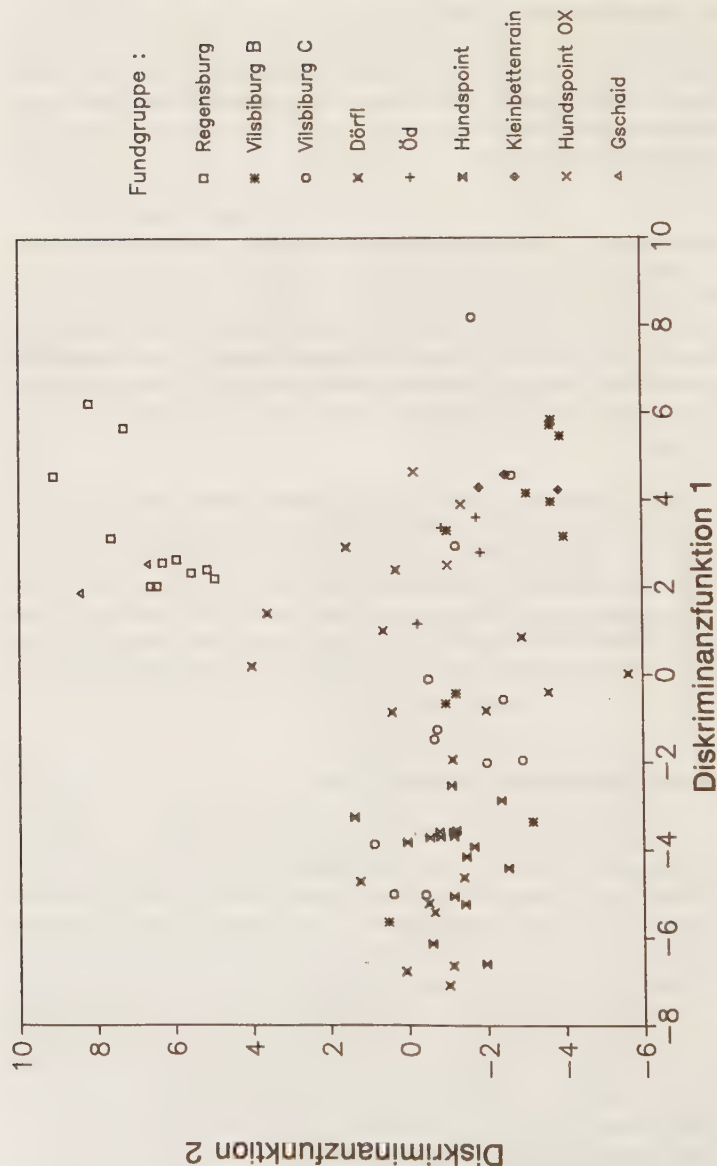


Abb. 52: Variationsdiagramm der Werte der beiden ersten Diskriminanzfunktionen der Vergleichsproben nach einer Diskriminanzanalyse der Fundgruppen der sicheren Kröniger Irdenware

Abbildung 52 dargestellt sind, belegen jedoch, daß sie nicht zur Fundgruppe Hub gehören, sondern als Proben von außerhalb des Kröning anzusehen sind. Die Proben von Kleinbettenrain, wie auch die oxidierend gebrannte Keramik aus Hundspoint werden der Fundgruppe Kleinbettenrain zugeordnet. Eine Trennung der Proben in oxidierend gebrannt, d.h. zur Hauptgruppe I gehörend, und reduzierend gebrannt, d.h. zur Hauptgruppe II gehörend, liegt bei den untersuchten Stücken aus Dörfel und Hundspoint vor. Die Proben aus Vilsbiburg werden vier verschiedenen Fundgruppen aus beiden Hauptgruppen zugeordnet, wobei der Schwerpunkt bei den Fundorten der Hauptgruppe Ia liegt. Aufgrund der Variationsdiagramme war eine solche Streuung zu erwarten.

Tabelle 17 : Diskriminanzanalyse der Vergleichsproben

	KL	KW	H	JE	JS	JW	BG	BA	HUB	n
RP									11	11
VB	6			1			2	2		11
VC	7		2				2	1		12
BF	5							5		10
D						3		3	2	8
ÖD		3					1			4
HU			7		1			9		17
K	5									5
G									2	2
HOX	3									3

Diskussion

Die Anwendbarkeit der Gruppenzuordnung, die auf der Grundlage der chemischen Elementanalytik mit Hilfe statistischer Methoden erfolgt, wird durch die Aufteilung der Vergleichsproben auf die in Kapitel 8.1.1. definierten neun Fundgruppen bestätigt. Auch Proben von außerhalb des Kröning (Regensburg) und von Rande des Kröning (Gschaidd) werden sicher als solche erkannt.

Die Proben aus dem Kröning werden zwar bestimmten Fundgruppen zugeordnet, dies bedeutet jedoch nicht, daß die Proben auch tatsächlich von dort stammen. Die Diskriminanzanalyse sagt lediglich, daß die Probe demjenigen Fundort, dem sie zugeordnet wird, in der chemischen Zusammensetzung am meisten ähnelt. Werden in Zukunft weitere Werkstätten gefunden und chemisch charakterisiert, so könnte es sein, daß eine unbekannte Probe einer dieser Werkstätten mit größerer Wahrscheinlichkeit als den bisher bekannten zugeordnet wird. Die Diskriminanzanalyse kann also nur eine Aussage bezüglich der bereits untersuchten und zur Definition herangezogenen Gruppen treffen. Aus diesem Grunde wird in der archäometrischen Literatur bei der Herkunftszuweisung unbekannter Proben mit dem Begriff der Referenzgruppen gearbeitet. Hierauf wird in Kapitel 10 näher eingegangen.

8.1.3. Röntgenfluoreszenzanalytik der Tone

Im Rahmen der Arbeit wurde versucht, durch die Analyse verschiedener Tone die Tone zu finden, die den Kröninger Hafnereien als Rohstoff gedient haben können. Im einzelnen wurden folgende Tonproben (Anhang I und II) untersucht (in Klammern die Anzahl der untersuchten Tonproben):

- Proben aus der Tongrube nahe Großbettenrain (25).
- Proben aus der Tongrube nahe Kleinbettenrain (21)
- eine Tonprobe, die in einem Topf bei der Bergung des Fundes Hub (Hühnerstall) gefunden wurde (1).
- eine Tonprobe aus dem Anstehenden der Scherbengrube Jesendorf (Wippenbeck) (1).
- Tonproben aus der ehemaligen Tongrube der Hafnerwerkstatt Kleinbettenrain (Winterstetter) (4).
- verschiedene Proben von der Bina, nördlich Dirnaich (7).
- verschiedene Tonproben aus dem Kröning und von der Bina (15)

8.1.3.1. Variationsdiagramme

Die Analysenwerte der Tone wurden in die aussagekräftigen Variationsdiagramme $\text{TiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ (Abb.53) und $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (Abb.54) eingetragen. In ihnen sind wiederum die Konzentrationsfenster, die der Zusammensetzung der Kröninger Irdenware entsprechen, eingezeichnet. Deutlich ist die gleiche Aufgliederung der Tonproben in zwei Gruppen, die für die Keramik charakteristisch ist, zu erkennen. Besonders ausgeprägt ist die Lücke in den Elementkonzentrationen zwischen beiden Gruppen in Abbildung 53.

Im Feld der Hauptgruppe I der Keramik (Abb.53) und an dessen Rändern liegen die Tonproben, die den violetten und braunen Tönen der Tongruben Groß- und Kleinbettenrain, den ebenfalls violetten Tönen der Tongrube nahe der Werkstatt Kleinbettenrain (Winterstetter), einer Tonprobe aus Eck, sowie drei Tonproben von der Bina entsprechen. T39 aus Eck kommt wegen seiner hohen CaO -Konzentration ($> 5\%$) ebenso wie die drei Tone von der Bina aufgrund ihres niedrigen Al_2O_3 -Gehaltes ($< 10\%$) nicht als Rohstoff in Frage. Möglicher Ausgangston für die Irdenware der in Kapitel 8.1.1. definierten Hauptgruppe I kann nur ein Ton sein, der den violetten und braunen Tönen der untersuchten Tongruben entspricht. Wie Abbildung 53 zeigt, liegen die meisten dieser Tone am Rande und sogar jenseits des Konzentrationsbereichs, der für die Hauptgruppe I als Grenzwert angesehen werden kann. Eine zusätzliche Magerung (z.B. mit einem sandigen Ton) würde diese fetten Tone jedoch alle in den Bereich der Hauptgruppe I bringen.

Für die Irdenware der Hauptgruppe II ist das Spektrum der möglichen Ausgangstone weit größer. Wie Abbildung 54 zeigt, gibt es jedoch eine große Zahl von Tönen, die aufgrund stark abweichender Elementgehalte als Rohstoffe ausscheiden. In jedem Fall sind solche Tonproben auszuschließen, die auch durch Verdünnung durch eine Magerungskomponente einen CaO -Gehalt von kleiner 1% und einen

MgO-Gehalt von kleiner etwa 2% nicht erreichen. Nimmt man einen Zuschlag etwa der gleichen Menge eines mageren CaO-armen Tones an, so darf der zulässige CaO-Gehalt 1.5% und der MgO-Gehalt 3% nicht übersteigen (Tabelle 18). Die beiden oberflächennahen Tone der Tongrube Großbettenrain (siehe Unger 1987, S.34) T105 und T106 scheiden darüber hinaus wegen ihrer hohen Zn und Cr-Gehalte aus. T9627 und T9628 (Grube Großbettenrain) sind bei Na₂O-Werten größer 1% zur Verwendung bei der Herstellung Kröninger Irdenware auszuschließen. Die Tone T5, T7, T8 von der Bina wie auch TH26 (Grube Kleinbettenrain) zeigen extrem niedrige Al₂O₃- bei entsprechend hohen SiO₂-Konzentrationen, die sie als Rohstoff ungeeignet erscheinen lassen. Sie sind jedoch aufgrund ihrer Haupt- und Spurenelementzusammensetzung, wie noch gezeigt wird, als Magerungsmittel wohl geeignet.

Tabelle 18: CaO- und MgO-Konzentrationen der Tonproben (vgl. Anhang II)
("brauchbare" Tone sind fett gedruckt)

P.Nr	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T14	T15	T16	T18	T9623	T9624
MgO	2.79	3.05	1.54	0.62	1.22	0.46	0.61	0.99	0.80	0.49	0.67	2.30	10.48
CaO	0.92	0.82	0.78	0.52	0.47	0.41	0.55	0.77	0.65	0.32	0.53	5.49	10.84
P.Nr	T9625	T9626	T9627	T9628	T9629	T9630	T9631	T9632	T9633	T9634	T9635	T9636	T9637
MgO	3.51	4.47	1.30	2.11	3.66	6.43	7.63	8.51	3.99	5.92	3.19	3.00	1.95
CaO	2.23	4.96	0.83	0.93	8.84	11.49	8.78	10.16	4.78	7.47	2.04	1.42	0.85
P.Nr	T9638	T9639	T9640	T9641	T9642	T9643	T9644	TH17	TH18	TH19	TH20	TH21	TH22
MgO	1.68	1.03	0.63	0.58	0.51	1.09	0.76	4.62	4.32	3.93	3.08	2.68	4.84
CaO	0.87	0.69	0.51	0.55	0.44	0.79	0.71	5.29	2.90	2.17	0.87	0.89	3.43
P.Nr	TH35	TH34	TH33	TH30	TH31a	TH31b	TH30	TH29	TH28	TH27	TH26	III/2	TH1B
MgO	0.67	0.62	0.63	0.61	0.64	0.63	0.35	0.60	0.58	0.52	0.32	1.29	1.00
CaO	0.66	0.61	0.61	0.58	0.59	0.58	0.31	0.54	0.52	0.45	0.30	0.65	0.86
P.Nr	T9897	T9898	T9900	T93	T92	T39	T49	T42	T105	T106	T108	T114	T118
MgO	4.82	9.18	2.08	3.06	0.55	0.62	1.12	1.26	2.27	1.60	1.38	0.98	0.90
CaO	3.79	10.71	4.00	0.90	0.48	5.23	0.46	1.37	0.94	1.02	0.46	0.68	0.83
P.Nr	T177	T178	T179	T181	T182	Min	Max						
MgO	1.51	2.10	2.09	1.41	1.38	0.32	8.51	[%]					
CaO	0.77	8.78	0.65	0.51	0.46	0.31	11.49	[%]					

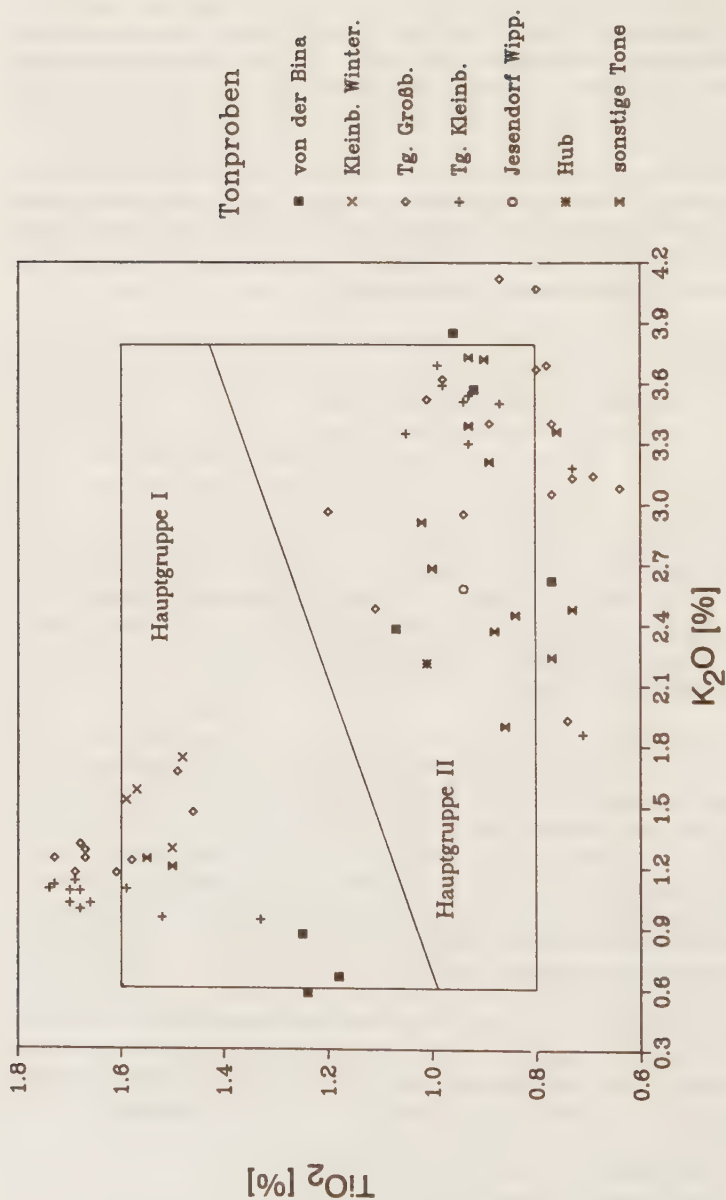


Abb. 53: Variationsdiagramm TiO₂/K₂O der Tonproben. Das Fenster entspricht den Variationsbreiten der Kröninger Irdenware (vgl. Abb.30)

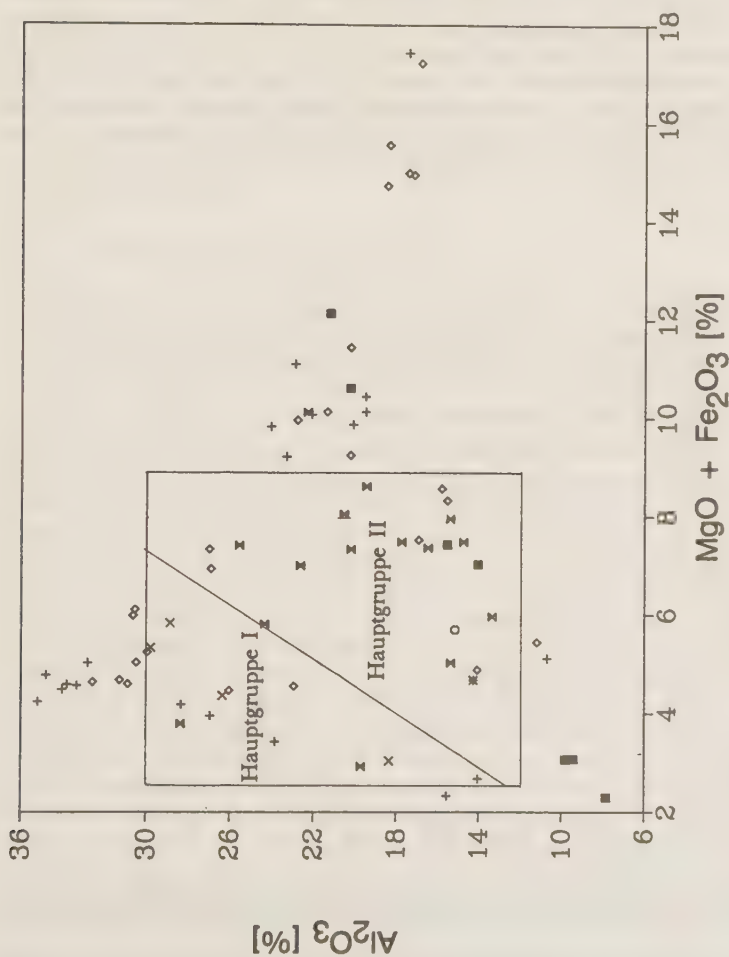


Abb. 54: Variationsdiagramm $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ der Tonproben. Das Fenster entspricht den Variationsbreiten der Kröninger Irdenware (vgl. Abb.27)

Als Rohstoff für die Hauptgruppe II bleiben noch die Tone T4, T6, T181, T182 von der Bina, die blauen Tone der Tongrube Großbettenrain, die Tonfunde aus den Werkstattbruchgruben Hub und Jesendorf (Wippenbeck) sowie die Kröninger Tone T49, T42, T108, T114, T118, T179.

8.1.3.2. Clusteranalyse der Tonproben

Die Clusteranalyse der Tonproben nach Ward (Abb.55) läßt zwei große Cluster erkennen, die grob die Tone, die zur Herstellung der Irdenware hergenommen werden können, von denen trennt, die als Rohstoff weniger geeignet sind. Cluster 1 und 2 in Abbildung 55 setzen sich aus Tönen zusammen, die aufgrund erhöhter Gehalte an Haupt- und Spurenelementen, vor allem an CaO, MgO und geochemisch verwandten Elementen, als Rohstoff nicht oder nur bedingt in Frage kommen. Cluster 1 besitzt nur leicht erhöhte Gehalte, die durch Verdünnen im Verhältnis 1:1 in den Konzentrationsrahmen der Keramik zu bringen sind.

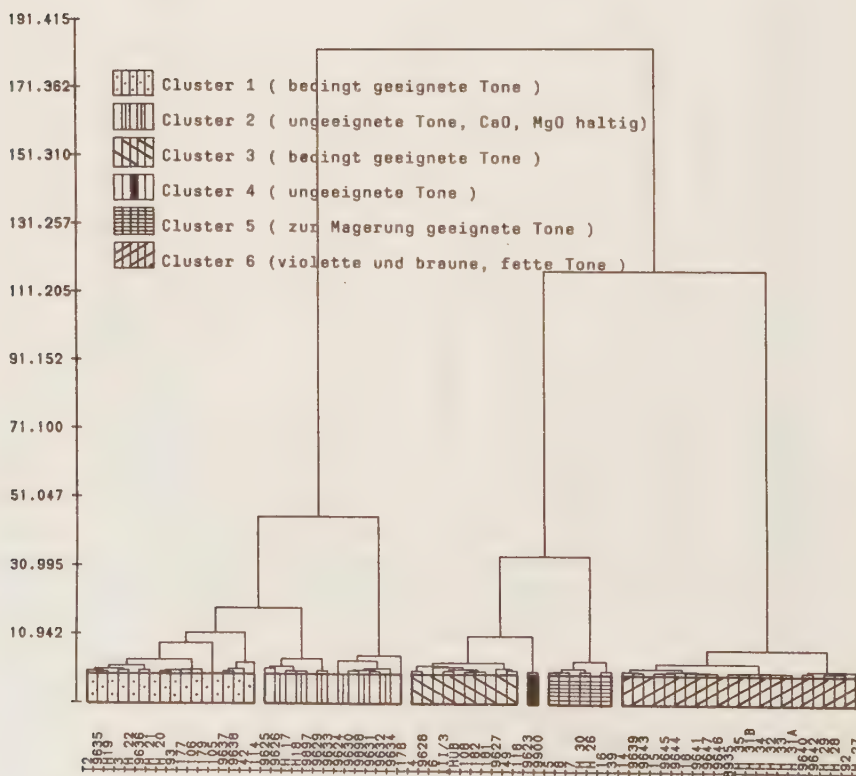


Abb. 55: Clusteranalyse der Tonproben nach Ward

Auch ein "Aufbereitungsprozeß" wie ein Schlämmen oder Auslaugen durch Lagerung der Tone im Freien, könnten den Ton entsprechend verändern, im Unterschied zu den Tönen des Cluster 2, bei denen die $\text{CaO} + \text{MgO}$ -Konzentrationen bis 20% gehen. Betrachtet man die Gruppe der brauchbaren Tone, so lassen sich vier Cluster auf niedrigerem Ähnlichkeitsniveau unterscheiden. Cluster 3 besteht aus Tönen, die als Ausgangston zur Herstellung der Keramik der Hauptgruppe II hätten dienen können. Sie liegen jedoch mit ihrem Al_2O_3 -Gehalt am unteren Ende des Konzentrationsfensters der Irdenware, ihre Na_2O -Konzentration liegt weit darüber. Durch Zumischen eines fetten Tones könnten diese Tone bis auf die Na_2O -Konzentration in den Bereich der analysierten Kröninger Irdenware gebracht werden. Die beiden Proben von Cluster 4 enthalten mehr als die doppelte Na_2O -Konzentration der Na_2O reichsten Kröninger Irdenware und scheiden schon alleine aus diesem Grund als Rohstoff aus. Cluster 5 besteht aus den schon oben erwähnten sehr mageren Tönen, die zur Magerung der fetten Tone verwendbar sind. Cluster 6 setzt sich aus den fetten violetten und braunen Tönen zusammen, die als Rohstoffe für die Hauptgruppe I bei entsprechender Magerung gedient haben können.

8.1.3.3. Diskriminanzanalyse der Tonproben

Zunächst einmal erstaunt es, daß alle Tonproben, auch die mit 20% $\text{CaO} + \text{MgO}$ in den Bereich der Kröninger Irdenware fallen (Abb.56). Unter genauer Betrachtung der Arbeitsweise des Rechenprogramms wird dies jedoch verständlich.

Das Programm zur Diskriminanzanalyse berechnet die verschiedenen Diskriminanzfunktionen zur Trennung der "a priori" Gruppen, und die so erhaltenen Funktionen besitzen für die verschiedenen Elemente Koeffizienten, die Werte entsprechend der Bedeutung des Elementes für die Gruppentrennung annehmen. Elemente, die stark zur Trennung beitragen, erhalten große Koeffizienten (z.B. Koeffizient der 1. Diskriminanzfunktion für $\text{Al}_2\text{O}_3 = 2.1$), während die Elemente, die kaum einen Beitrag zur Trennung leisten, niedrige Koeffizienten erhalten (z.B. Koeffizient der ersten Diskriminanzfunktion für $\text{CaO} = -0.04$). Wenn man zudem beachtet, daß die erste Diskriminanzfunktion über 58% der Gesamtvarianz in unserem Falle erklärt, so wird die Bedeutung der Koeffizienten deutlich. Wie oben angeführt, besitzt CaO einen sehr kleinen Wert, was dazu führt, daß selbst sehr hohe CaO Gehalte nur unwesentlich zum Funktionswert der 1. Diskriminanzfunktion beitragen. Somit fallen bei einer Diskriminanzanalyse auch Tone, die keinesfalls als Rohstoff in Frage kommen, ins Feld der Keramik. Will man also mit Hilfe einer Diskriminanzanalyse Tone einer bestimmten Keramikgruppe zugeordnet wissen, so darf man die Meßwerte der Einzelemente nicht außer acht lassen. Sinnvoll ist der Ausschluß der Proben, die offensichtlich in keine der Gruppen gehören.

Wie aus Tabelle 19 hervorgeht, werden alle braunen (TH31B, TH30, TH29, TH28, TH27, T42) und violetten (TH31A, Th32, TH33, TH34, TH35, T9639 - T9647, T14, T15, T16, T18) Tone den Fundgruppen der Hauptgruppe I zugeordnet. Auch die sehr sandigen Tone (TH26, T5, T7, T8) fallen in diese Gruppe.

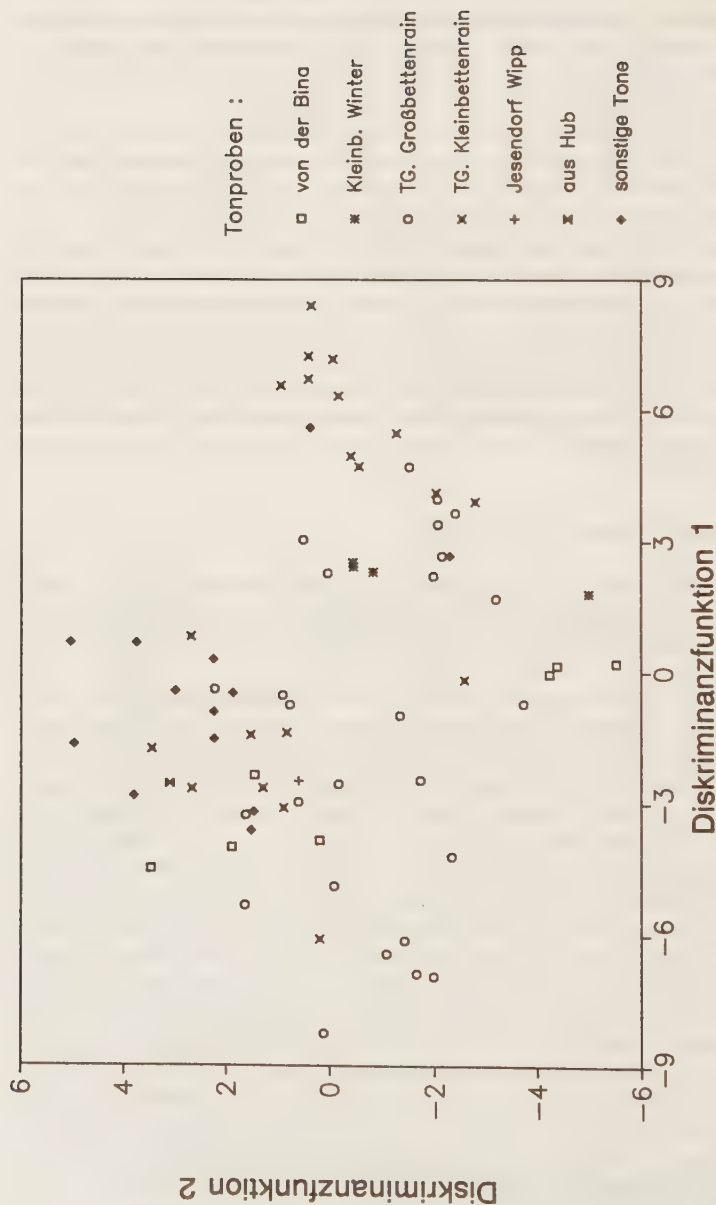


Abb. 56: Variationsdiagramm der Werte der beiden ersten Diskriminanzfunktionen der Tonproben nach einer Diskriminanzanalyse der Fundgruppen der sicheren Kröninger Irdenware

Die Tone von der Bina (T2, T4, T6, T182) werden der Fundgruppe Bina (Stall) zugeordnet, was unsere Vermutung stützt, daß diese Keramik aus lokalem Ton hergestellt wurde.

Tabelle 19 : Ergebnis der Diskriminanzanalyse der Tonproben (Nur die "brauchbaren" Tone sind ausgewertet)

KL	-	T9642, T5, T7, T8, T16
KW	-	TH26, TH30
H	-	T93, T179
JE	-	T9640, T9641
JS	-	T177, TH20, T181
JW	-	TH27, TH28, TH29, TH31B, TH31A, TH32, TH33, TH34, TH35, T118, T9639, T92
BG	-	T14, T15, T18, T9637, T9638, T9643, T9644, T9645, T9646, T9647, III/2, T42
BA	-	T2, T4, T6, T182
HUS	-	THUB, T49, T108, T114

Diskussion

Welche Tone benutzten die Kröninger Hafner?

Wie zu vermuten, spiegelt sich die grobe Aufteilung der Kröninger Irdenware in die Hauptgruppen I und II auch in den Tonlagerstätten wider. Sowohl die Variationsdiagramme wie auch die Clusteranalyse bestätigen dieses Bild. Dabei entsprechen der Hauptgruppe I die braunen und violetten kaolinitischen sowie die sandreichen Varietäten der Kröninger Lagerstätten, während für die Hauptgruppe II die mageren illitisch-chloritischen Varietäten in Frage kommen. Zur Herstellung der Kröninger Irdenware wurden in keinem Fall die kalkreichen Tone benutzt, obwohl diese in ausreichender Menge anstehen. Das wird auch aus den Konzentrationen der verschiedenen Elemente im Vertikalprofil der Tongrube Kleinbettenrain (Abb.57) und der Tongrube Großbettenrain (Analysewerte im Anhang II) deutlich. Vom Hangenden zum Liegenden können erst die blauen Tone als Rohstoff benutzt worden sein. An der Grenze blauer/violetter Ton tritt ein deutlicher Sprung in fast allen Elementkonzentrationen auf, der mit einem Wechsel in der Mineralogie von einem chloritisch-illitischen Ton in einen kaolinitischen Ton einhergeht. Zum Liegenden hin bleibt der Ton weiter kalkarm, wird aber wieder sandiger. Die Änderung im Chemismus spiegelt sich auch in einer Änderung der Farbe des Tones wieder. Die ersten Tone, die vom Hangenden her "brauchbar" sind, sind die blauen Tone. Ihnen folgen die fetten, besten Tone, die leicht an der violetten Farbe erkannt werden können. Etwas sandreichere aber immer noch gute kaolinitische Tone besitzen eine bräunliche Farbe. Von daher war es den Hafnern ohne Schwierigkeiten möglich, genau den Ton, den sie brauchten, auszuwählen und sicher von den kalkreichen Tonvarietäten zu trennen. Diese Tonauswahl alleine erklärt schon die Grobeinteilung der Kröninger Irdenware in zwei Gruppen.

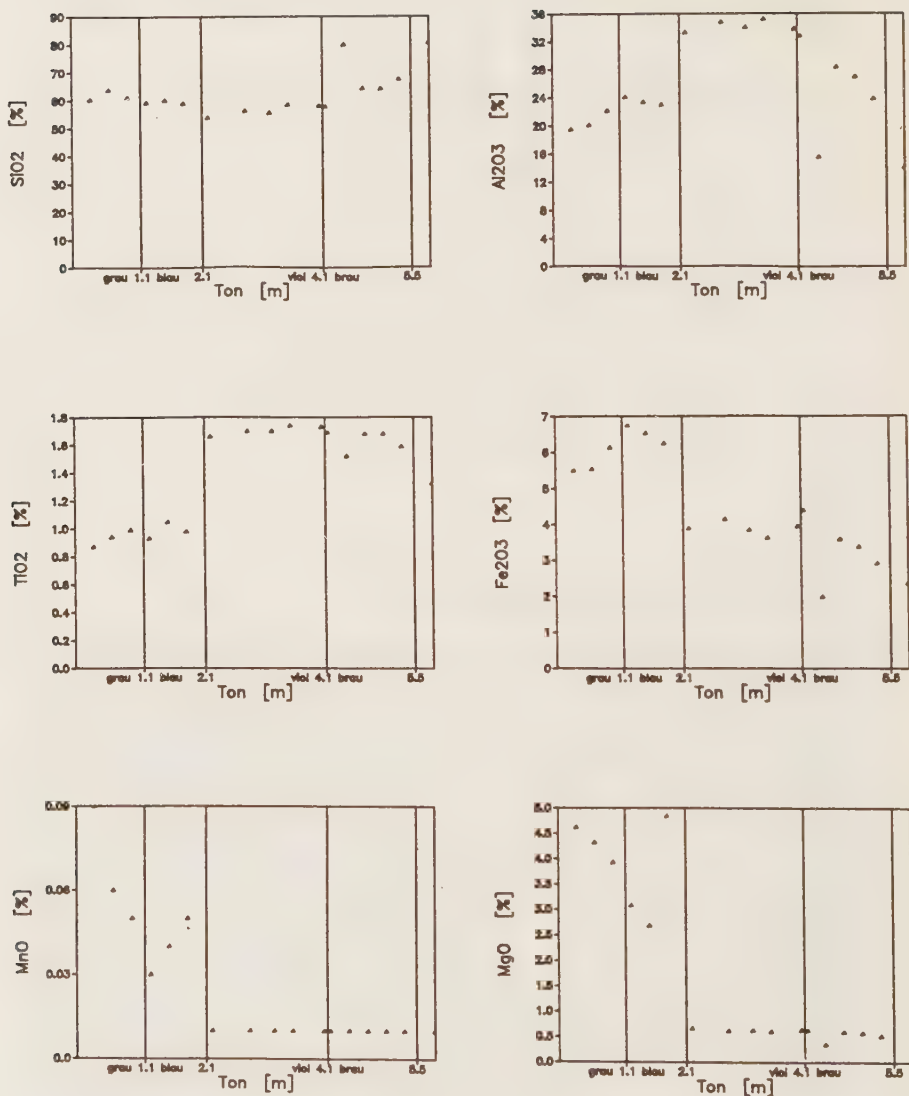


Abb. 57: Elementkonzentrationen im Profil der Tongrube Kleinbettenrain
 grau - grauer Ton, blau - blauer Ton
 viol. - violetter Ton, brau - brauner Ton

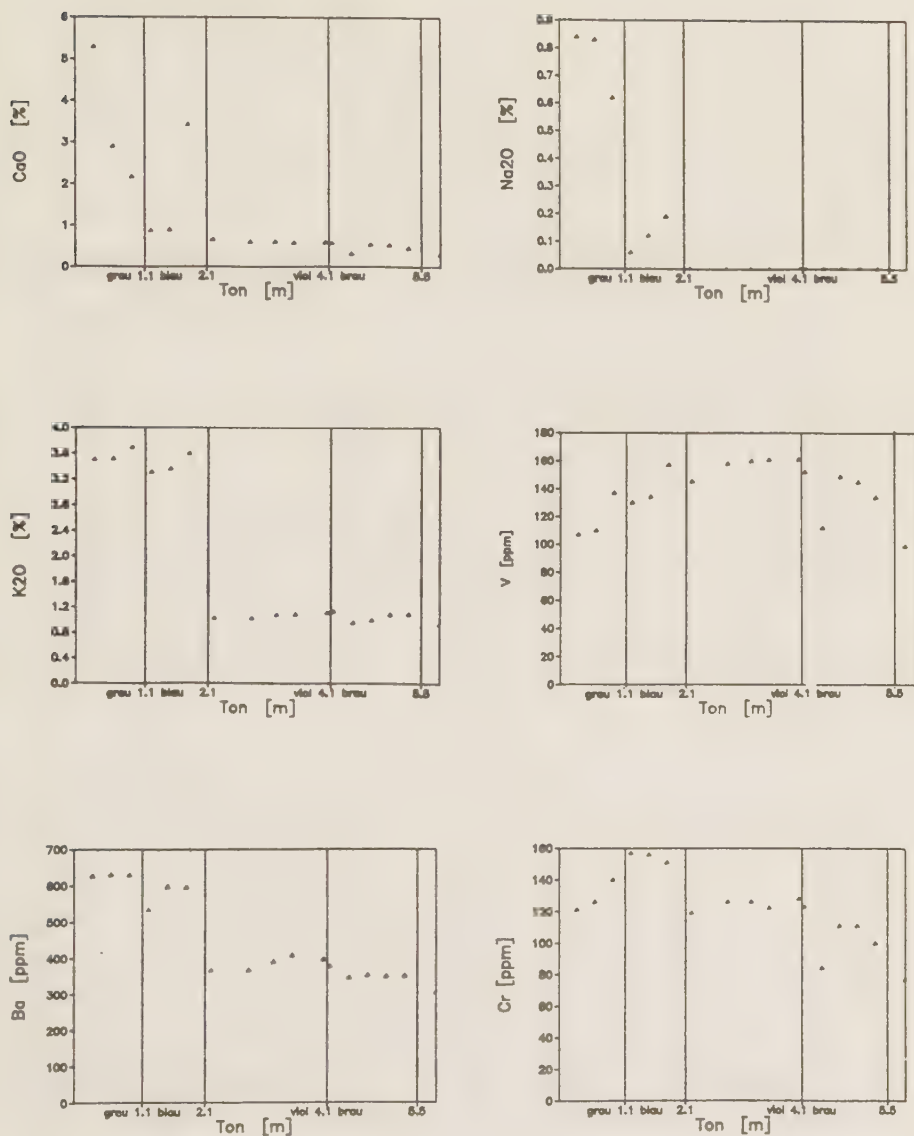


Abb. 57: Elementkonzentrationen im Profil der Tongrube Kleinbettenrain

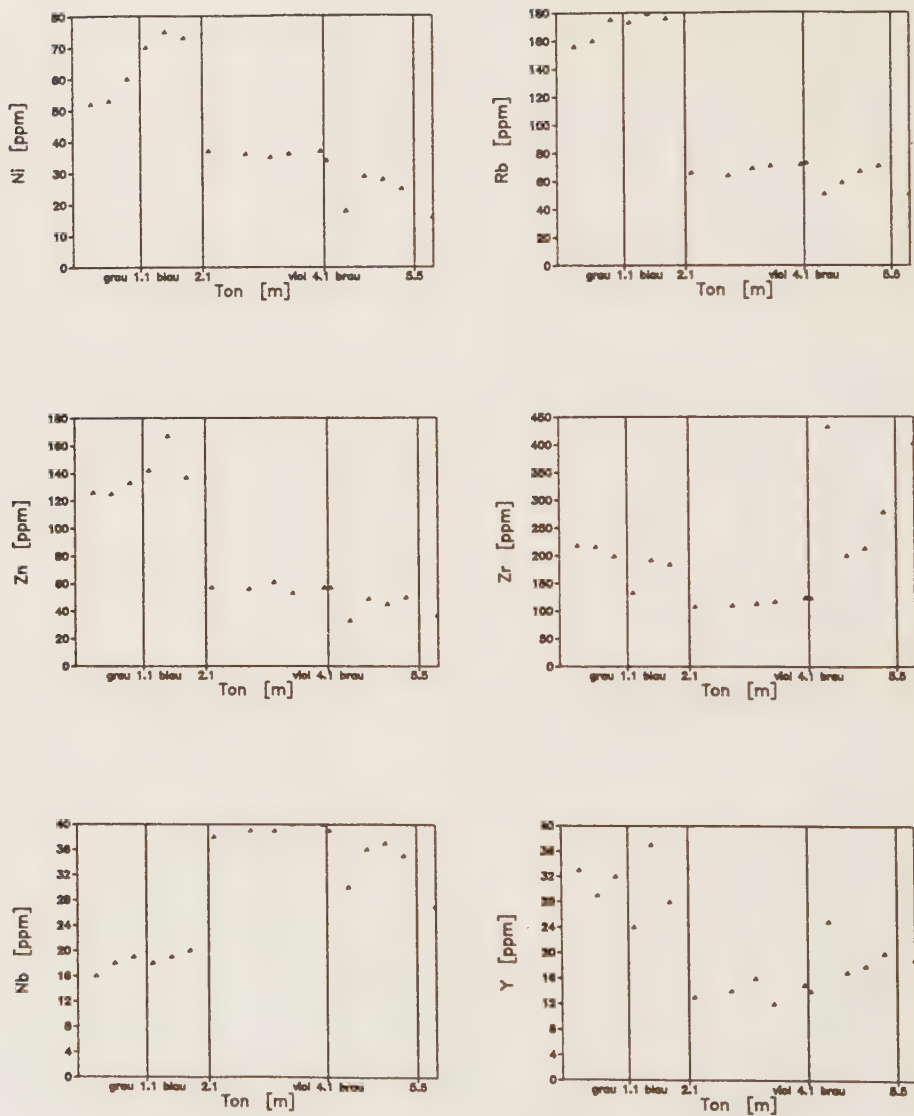


Abb. 57: Elementkonzentrationen im Profil der Tongrube Kleinbettenrain

Wurden die Tone künstlich gemagert?

Die meisten kalkarmen kaolinitischen, aber auch ein Großteil der kalkarmen chloritisch-illitischen Tone sind sehr fett. Sie können zwar ohne weitere Magerung verarbeitet werden; wie die Analysen (Anhang II und die mikroskopischen Untersuchungen in Kapitel 8.3.) zeigen, geschah dies nur in wenigen Ausnahmefällen (z. B. Extremgruppe). Läßt man diese Ausnahmen außer acht, so ist es nicht möglich, aus einem der analysierten Tone ohne zusätzliche Magerung eine Irdenware herzustellen, die den untersuchten Proben Kröninger Irdenware entspricht. Magere Tone, die zu einer Magerung von fetten Tonen gedient haben können, wurden auch analysiert (T5, T7, T8, TH26); durch entsprechende Zumischung zu einem fetten Ton, müßte ein Arbeitston zu erzeugen sein, der der Kröninger Irdenware chemisch entspricht. 1:1- und 2:1- Mischungen von mageren und fetten Tonen wurden berechnet (Tabelle 20). Als Vertreter der Hauptgruppe I wurde ein violetter Ton aus Kleinbettenrain TH33 mit einem mageren Ton derselben Grube TH26 im Verhältnis 1:1 zu einer Tonmasse verrechnet, die einer Probe aus Jesendorf (J3ST) aus der Hauptgruppe Ib nahe kommt. Ein Ton aus dem Feld der Hauptgruppe II (T9638) wurde rechnerisch mit einem mageren Ton von der Bina im Verhältnis 1:1 und 2:1 verschnitten; beide Resultate liegen im Konzentrationsbereich der in Kapitel 8.1.1. definierten Hauptgruppe II. Somit ist nachgewiesen, daß durch Mischen von fetten und mageren Tonen aus dem Kröning ein Arbeitston erhalten werden kann, der zumindest von der analytischen Chemie her der Kröninger Irdenware entspricht.

Tabelle 20 : Mischung von mageren und fetten Tonen

[%]	TH33	TH26	1:1	J3ST	T9638	T5	1:1	2:1
SiO ₂	55.6	80.52	68.09	68.44	60.92	85.47	73.19	69.10
TiO ₂	1.70	1.33	1.51	1.53	1.20	1.25	1.22	1.21
Al ₂ O ₃	34.05	14.05	24.05	23.81	26.94	9.38	18.39	21.23
Fe ₂ O ₃	3.85	2.36	3.10	3.84	5.25	2.45	3.85	4.32
MnO	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02
MgO	0.63	0.32	0.48	0.48	1.68	0.62	1.15	1.35
CaO	0.61	0.30	0.46	0.52	0.87	0.52	0.69	0.75
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.04	0.10	0.12
K ₂ O	1.08	0.94	1.01	1.18	2.96	0.87	1.91	2.26
P ₂ O ₅	0.06	0.03	0.05	0.23	0.06	0.03	0.05	0.05
[ppm]								
Ba	387	304	345	352	538	176	357	417
Cr	126	77	101	109	143	69	106	118
Ni	35	16	26	29	54	21	37	43
Rb	69	51	60	66	159	52	105	123
Zn	61	37	49	50	101	60	80	87
Zr	113	402	257	275	147	398	272	230
Nb	39	27	33	34	24	20	22	23
Y	16	19	18	23	24	29	26	26
V	160	99	129	126	170	109	139	150

Die Extremgruppe

Wenige der analysierten Proben (Extremgruppe) scheinen nicht gemagert worden zu sein. Es handelt sich um die Proben B3AH, BA1, B15A und BB9 der Fundgruppe Bina (Stall). Sie besitzen im Vergleich zur übrigen analysierten Irdenware extrem hohe Ba-, Cr-, Rb-, V- und K₂O-Konzentrationen bei erhöhten Werten von MgO, CaO, Na₂O. Nur eine der analysierten Tonproben zeigt eine ähnliche Elementverteilung (Anhang II, Tab. 21). Es wurde jedoch keine Tonprobe analysiert, aus der mit Sicherheit der Scherben der Extremgruppe hergestellt wurde. Berücksichtigt man die vier Analysen der Proben der Extremgruppe, so muß es sich bei dem Ausgangston um eine Ton gehandelt haben, der neben einer hohen Illit-Komponente einen relativ niedrigen Eisengehalt aufgewiesen hat. Da keiner der im Kröning beprobten, analysierten Tone diesen Anforderungen entspricht, und nur der Ton T2 von der Bina in der chemischen Zusammensetzung der Extremgruppe gleicht, kommt auch nur ein lokaler, noch unbekannter Ton von der Bina in Frage.

Tabelle 21: Analysenwerte der Proben der Extremgruppe

[%]	B3AH	BA1	B15A	BB9	T2	[ppm]	B3AH	BA1	B15A	BB9	T2
SiO ₂	66.88	62.77	60.22	66.90	63.20	Ba	644	649	689	721	651
TiO ₂	1.16	1.16	1.08	1.21	.92	Cr	129	125	125	134	128
Al ₂ O ₃	20.81	19.99	21.11	21.64	20.27	Ni	28	26	29	28	57
Fe ₂ O ₃	3.88	3.35	3.75	3.73	7.81	Rb	167	177	186	184	184
MnO	.02	.02	.03	.02	.07	Sr	71	72	79	76	105
MgO	1.17	1.20	1.20	1.27	2.79	Zn	58	59	62	59	123
CaO	.68	.73	.84	.74	.92	Zr	207	221	206	220	177
Na ₂ O	.22	.25	.25	.31	1.01	Nb	23	24	23	23	16
K ₂ O	3.45	3.62	3.68	3.74	3.57	V	25	24	25	28	31
P ₂ O ₅	.16	.05	.42	.28	.13		157	155	148	164	142

Zusammenfassend bleibt festzuhalten:

- Zur Herstellung der Keramik der Hauptgruppe I wurde von den Hafnern bevorzugt ein kaolinitischer Ton als Rohstoff benutzt.
- Ein chloritisch-illitischer Ton wurde zur Irdenware der Hauptgruppe II verarbeitet.
- Die Keramik der Fundgruppe Bina (Stall) wurde vermutlich aus lokalem Ton hergestellt, d.h. nicht aus importiertem "Kröninger" Ton.
- In der Regel wurden die Tone gemagert verarbeitet.

8.2. Phasenanalytik durch Röntgenbeugung

Die Röntgenbeugung mit einem Pulverdiffraktometer soll folgende Fragen beantworten:

- Kann man aufgrund der Phasenanalytik mit einem Pulverdiffraktometer die untersuchte Keramik in Gruppen gliedern, wie es mit der chemischen Analytik möglich ist?
- Gelingt es unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Brennversuche die Brenntemperaturen der Kröninger Irdenware abzuschätzen?
- Lassen die Diffraktogramme Rückschlüsse auf die Ausgangstone zu?

Arbeiten von **Maggetti** (1982), **Maggetti et al.** (1986a), **Jornet** (1982), **Nungässer et al.** (1985), **Stout et al.** (1985) etc. haben gezeigt, daß anhand von Phasenanalysen mit dem Pulverdiffraktometer Gruppen innerhalb größerer Keramikfunde definiert und deren Brenntemperaturen abgeschätzt werden können. Dazu teilt **Maggetti** (1981) die im keramischen Scherben beobachtbaren Phasen in drei Gruppen ein:

- 1) **Primäre Phasen:** reliktsche Phasen des ursprünglichen Rohtones oder der Magerungskomponenten, die während des Brennprozesses nicht zerstört werden.
- 2) **Brenn - Phasen:** Phasen, die sich im Brand neu bilden.
- 3) **sekundäre Phasen:** Phasen, die während des Gebrauchs oder der Bodenlagerung neu entstehen.

Die größeren Magerungsbestandteile (z.B. Quarz, Feldspat) lassen sich mit dem Polarisationsmikroskop (Kapitel 8.3.) besser als mit dem Röntgendiffraktometer beurteilen. Der Vorteil der Röntgenbeugung liegt mehr im submikroskopischen Bereich, d.h. im Erkennen von Tonmineralen und deren Umwandlungsprodukte beim Brand. Auch Veränderungen im Gitteraufbau mikroskopisch noch intakter Kristalle sind zu identifizieren. Neben einer Einteilung der Keramik in Gruppen sind die Phasenveränderungen auch zur Abschätzung der Brennbedingungen geeignet (Kap.7).

8.2.1. Röntgenbeugungsanalyse der Kröninger Irdenware

Wie aufgrund der Elementanalysen und Brennversuche nicht anders zu erwarten, waren die Diffraktogramme der untersuchten Keramikproben (siehe Anhang IV) arm an Reflexen. Es lassen sich meist nur Quarz, Feldspat und Illit nachweisen. Dazu kommen je nach Brennbedingungen und Stoffbestand Hercynit, Magnetit, Hämatit und in einigen hochgebrannten Stücken auch Mullit und Cristobalit. Einzelne Diffraktogramme zeigen neben einem erhöhten Untergrund lediglich die Quarzreflexe.

Die Brenntemperaturen lagen in jedem Fall über 500°C, denn weder Kaolinit noch Chlorit konnten nachgewiesen werden. Die Temperaturobergrenze lag bei etwa 950°C, da Mullit, wie die Brennversuche gezeigt haben, erst ab etwa 950°C auftritt. Alle Scherben mit Mullit können eindeutig als Fehlbrände identifiziert werden (blasige Glasur, harter - rissiger Scherben usw.). Bei zwei dieser Proben trat zudem noch Cristobalit auf, was auf Ofentemperaturen von oberhalb 1000°C hinweist.

Eine Abschätzung der Brenntemperaturen für die einzelnen Proben wurde auf dieser Grundlage vorgenommen und ist in Anhang III aufgelistet.

In Abbildung 58 bis 61 sind charakteristische Diffraktogramme der Kröninger Irdenware, die bestimmte Brenntemperaturen widerspiegeln, dargestellt.

In einem typischen Diffraktogramm (Abb.58) ist neben sehr wenig Feldspat als einzige Phase Quarz zu erkennen. Alle Tonminerale sind zerstört, und neue Minerale haben sich noch nicht gebildet. "Amorphe" Phasen (z.B. Metakaolinit) führen zu einer Erhöhung des Untergrundes bei $2\theta = 15 - 30^\circ$. Ein Vergleich mit den Brennversuchen läßt für diese Probe (B3G) eine Brenntemperatur von etwas unter 950°C vermuten.

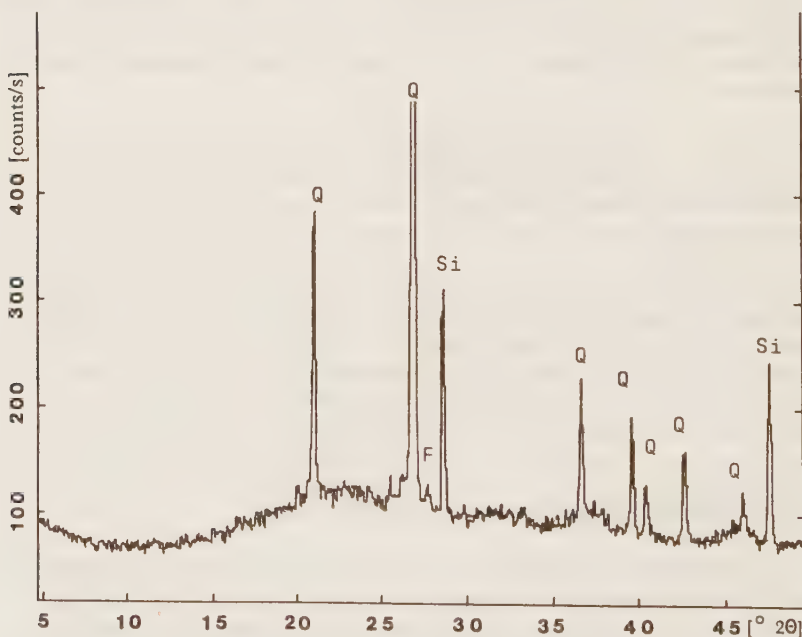


Abb. 58: B3G: oxidierend gebrannter Scherben. Es ist nur Quarz zu erkennen (die Reflexe bei $3.13\text{ \AA}$ und $1.92\text{ \AA}$ rühren vom internen Standard Si her). Q - Quarz, Si - Silicium-Standard, F - Feldspat, I - Illit: Brenntemperatur unter 950°C

Die Brenntemperatur der Probe V6C (Abb.59) lag zwischen 950° und 1000°C . An die Stelle der Tonminerale treten neue Phasen (Mullit und Spinell (Hercynit)). Neben Quarz und etwas Feldspat bleibt der Untergrund stark erhöht.

Die höchsten Temperaturen der untersuchten Kröninger Irdenware herrschten beim

Brand der Probe HUS3W (Abb.60). Reflexe von Mullit wie auch vor allem Cristobalit bezeugen eine Brenntemperatur von über 1000°C . Da die Brennversuche maximal 1000°C erreichten, läßt sich keine genauere Aussage treffen. Der Quarz - Reflex wie auch der "amorphe" Untergrund sind deutlich zurückgegangen. Da es sich hier ohne Zweifel um einen Fehlbrand in oxidierender Atmosphäre handelt, repräsentiert sie keinesfalls die im Brennofen üblichen, sondern die erreichbaren Temperaturen.

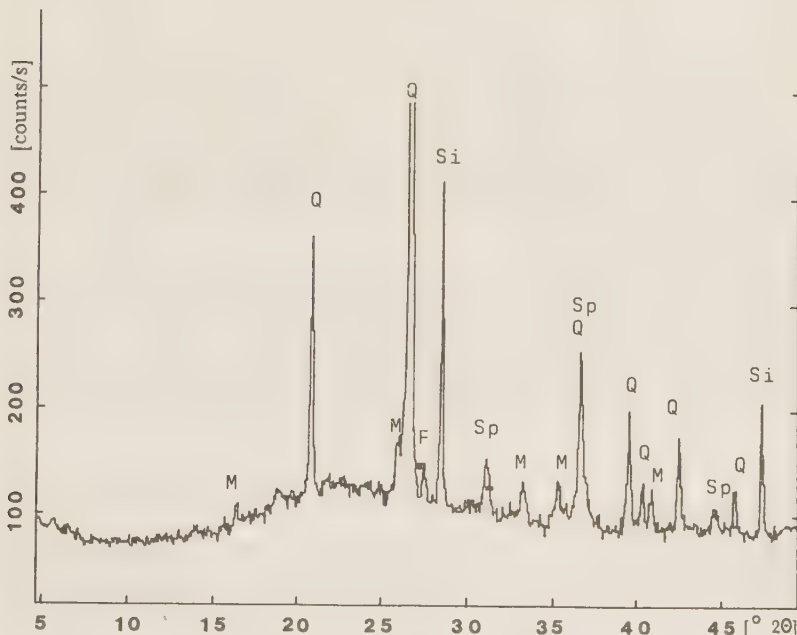


Abb. 59: V6C: oxidierend gebrannt (Fehlbrand), Brenntemperatur zwischen 950°C und 1000°C . Sp - Spinell, M - Mullit

Im Diffraktogramm einer Probe der "Extremgruppe" (B3A) (Abb.61) besitzen die Illit - Reflexe im Unterschied zu den bisher betrachteten Diffraktogrammen sehr hohe Intensitäten. Die Ergebnisse der Brennversuche legen eine Brenntemperatur von etwa 800°C nahe. Zieht man jedoch die Nachbrände (Tab.23) zu einer Beurteilung hinzu, so wäre durchaus ein Temperatur von 850°C und darüber hinaus noch vertretbar. Vergleicht man dieses Diffraktogramm mit dem des nachgebrannten Tones T9636 (Abb.63b), so fällt die große Ähnlichkeit auf. Dies ist ein weiteres Indiz dafür, daß die Keramik der Extremgruppe aus nicht zusätzlich gemagertem Ton hergestellt worden sein könnte.

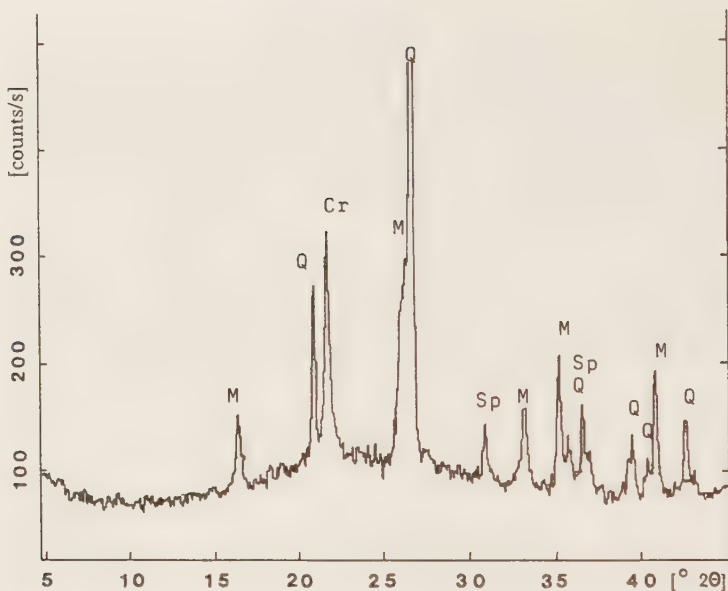


Abb. 60: HUS3W: Es liegen neben Quarz Mullit und Cristobalit vor:
Brenntemperatur über 1000°C. Cr - Cristobalit

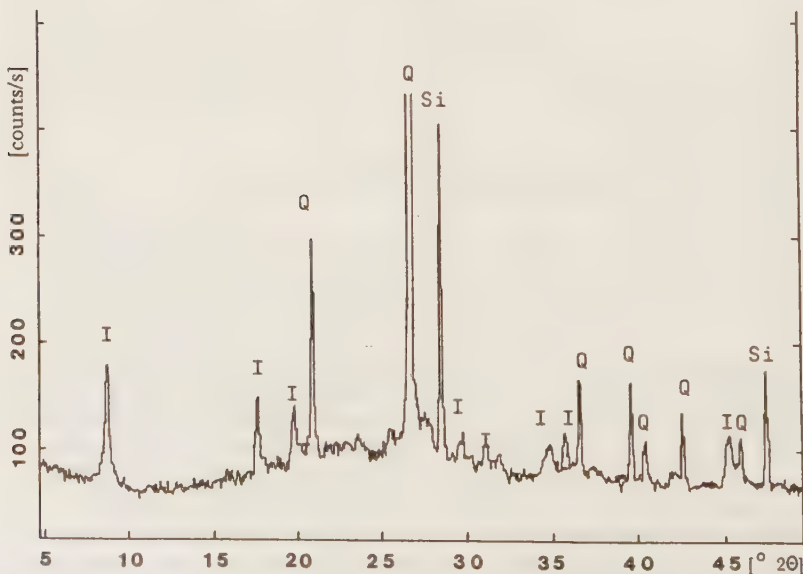


Abb. 61: B3A: Diffraktogramm einer Probe der Extremgruppe, reduzierend gebrannt.

Diskussion

Insgesamt betrachtet, werden sich die Brenntemperaturen der Kröninger Irdenware zwischen 850° und 950°C bewegt haben (Anhang III). Gelegentlich höhere und tiefere Brenntemperaturen der Funde aus den Scherbengruben sind dadurch zu erklären, daß zum einen in den damaligen Brennöfen nicht überall die gleiche Temperatur herrschte, zum anderen es sich bei der untersuchten Irdenware um Abfallware und nicht um die gut gebrannte Verkaufsware handelt.

Eine Gruppenbildung, wie sie anhand der Elementanalysen möglich ist, kann mit Hilfe der Röntgenbeugung nicht erfolgen. Ein Grund könnte darin liegen, daß nur eine qualitative und keine quantitative Phasenanalyse durchgeführt wurde. Aber aufgrund der Versuchsdurchführung konnten die relativen Mengenverhältnisse der verschiedenen Phasen in etwa abgeschätzt werden, wobei sich eine große Variation innerhalb fast aller "a priori" definierten Gruppen ergab, die auch bei quantitativer Analyse keine deutliche Abgrenzung in unterscheidbare Gruppen zuließ.

Die mineralogische Ähnlichkeit der untersuchten Keramik liegt in den Rohstoffen begründet, die chemisch in zwei große Gruppen eingeteilt werden können (Kapitel 8.1.). Die Variation innerhalb dieser Gruppen wird durch eine zugesetzte Magerungskomponente wie auch durch den Brand verändert. Der Einfluß der Brenn-atmosphäre hat im betrachteten Temperaturbereich (Kap.7.) nur geringe Auswirkungen auf den Phasenbestand.

8.2.2. Röntgenbeugung an den Vergleichsproben

Die Röntgenbeugungsuntersuchungen an den Vergleichsproben (Anhang III) bestätigen die Streuung der Brenntemperaturen wie auch die Variabilität der Phasenzusammensetzung innerhalb der Gruppen.

8.2.3. Röntgenbeugung an Kröninger Tonen.

Einen guten Überblick über die Variationsbreite der Phasenzusammensetzung der Kröninger Tone gibt uns das Vertikalprofil durch die Tongrube Kleinbettenrain (Tab. 22). Vom Liegenden (TH26) zum Hangenden (TH17) beginnt das Profil mit einem sandigen Ton, dem ein brauner kaolinitischer Ton folgt. Dieser geht rasch in den eigentlichen Keramikton, den violetten kaolinitischen, montmorillonitischen Ton über, gefolgt von der blauen illitisch - chloritischen Varietät. Darüber wird der Ton immer kalkreicher. Eine mergelige, glimmerreiche, sandige Ton-varietät schließt das Profil ab.

Tabelle 22: Phasenzusammensetzung im Vertikalprofil der Tongrube Kleinbettenrain: Qz - Quarz, Ill - Illit, P - Plagioklas, KF - Kalifeldspat, Chl - Chlorit, Mo - Montmorillonit, Kaol - Kaolinit, Do - Dolomit
nachweisbar I-X-XX-XXX-XXXX-XXXXX sehr viel

Probe	Qz	Ill	KF	P	Chl	Mo	Kaol	Do
TH17	XXXX	XXX			XX			XXX
TH18	XXXX	XXX	X	X	XXX			XX
TH19	XXX	XXX	X	I	XXX			X
TH20	XXXX	XXX	X		XXX	I		
TH21	XXXX	XXX	I	I	XXX		I	
TH22	XXXX	XXX	I	X	XXX		XX	
TH35	XXX		I				XXXX	
TH34	XX	I				I	XXXX	
TH33	XXX		I			X	XXXX	
TH32	XXX					X	XXXX	
TH31A	XX					X	XXXX	
TH31B	XX	X	I			XXX	XXXX	
TH30	XXXX	X	X			?	XXXX	
TH29	XXX	I	I				XXXX	
TH28	XXX	X					XXX	
TH27	XXXX	X			?		XXX	
TH26	XXXXX	X	X		?		XX	

Da in allen untersuchten Scherben keine Kalksilikatminerale und auch chemisch nur sehr wenig CaO gemessen wurde, müssen die Hafner zur Herstellung der Kröninger Irdenware gezielt den blauen, violetten oder braunen kalkarmen bis kalkfreien Ton abgebaut haben. Um die Tone unmittelbar mit der Keramik vergleichen zu können, wurden 24 Tonproben (Anhang III) aus den Tongruben in Groß- und Kleinbettenrain bei 850°C gebrannt.

In den Abbildungen 62 bis 65 werden die Diffraktogramme von vier ungebrannten charakteristischen Kröninger Tönen den gebrannten Tönen gegenübergestellt.

Die Diffraktogramme des Tones T9630 (Abb.62) zeigen einen mergeligen, illitisch-chloritischen Ton, der aufgrund der chemischen Analysen (Abhang II) nicht zur Herstellung der Kröninger Irdenware benutzt wurde. Brennt man ihn bei 850°C, so liefert er einen sehr weichen, rötlich braunen Scherben.

Der Ton T9636 (Abb.63) ist kalk- und feldspatarm, brennt hellbraun und auch härter als T9630. Auch er ist ein illitisch-chloritischer Ton.

Ein Vertreter des kaolinitischen Tones TH32 (Abb.64) zeigt neben dem hohen Kaolinit-Gehalt die Armut an Feldspat und im Vergleich mit den übrigen Tönen einen deutlich geringeren Anteil an Quarz. Gebrannt liefert er einen harten,

beigen Scherben, wie er bei der oxidierend gebrannten Kröninger Irdenware überall zu finden ist. Den Brand bei 850°C hat nur eine Illit/Montmorillonit-Komponente überstanden.

Der braune Ton der Abbildung 65 ist quarzreicher mit einem Illit/Montmorillonit-Anteil. Im Brennverhalten gleicht er dem violetten Ton.

Tabelle 23: Phasenverteilung der Nachbrände an Tonen der Tongruben Groß- und Kleinbettenrain: Qz - Quarz, Ill - Illit, P - Plagioklas, KF - Kalifeldspat, Mo - Montmorillonit, Häm - Hämatit
nachweisbar I-X-XX-XXX-XXXX-XXXXX sehr viel + - möglich

Probe	Qz	Ill	KF	P	Mo	Häm
9625B	XXX	XXXX	XX	XX	+	
9627B	XXXX	XX	XX	XX	+	
9628B	XXXX	XXX	XX	X	+	
9629B	XXX	XXX	XX	XX	+	
9630B	XXX	XXX	XX		+	
9631B	XXX	XXX	XX		+	
9632B	XX	XXX	X		+	
9633B	XXX	XXX	X	X	+	
9634B	XXX	XXX	X			XX
9635B	XXX	XXX	X			
9636B	XXX	XXX	XX		+	
9637B	XXX	XXX	X		+	
9638B	XXX	XX	I		+	
9639B	XX	XX	I		+	
9640B	XXX	I	I		+	
9641B	XXX	+	I		+	
9642B	XXX	I	+		+	
9643B	XX	I	I		+	
TH26B	XXXX	X	XX		+	
TH27B	XXX	+			+	
TH28B	XXX	X	I		+	
TH29B	XXX	I	I		+	
TH30B	XXXX	X	+		+	
TH32B	XX				+	

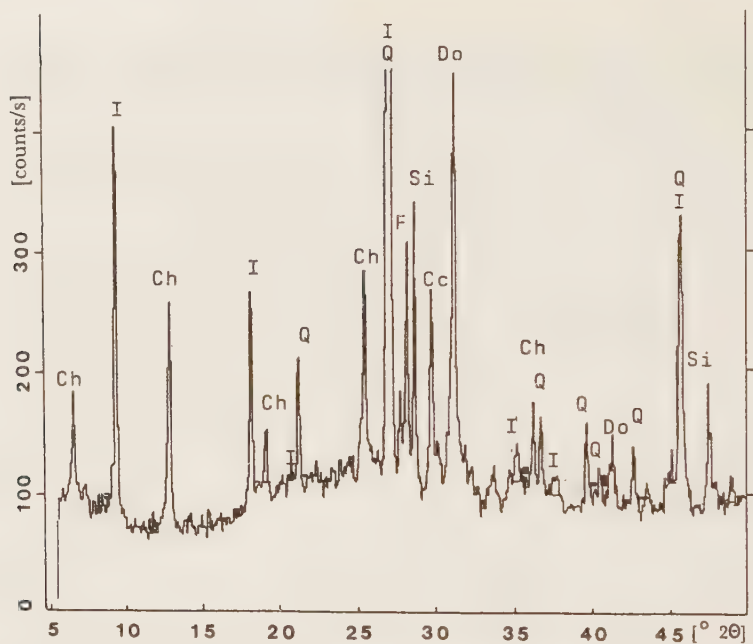


Abb. 62a: Diffraktogramm des kalkhaltigen Tones T9630

Do - Dolomit, CC - Calcit

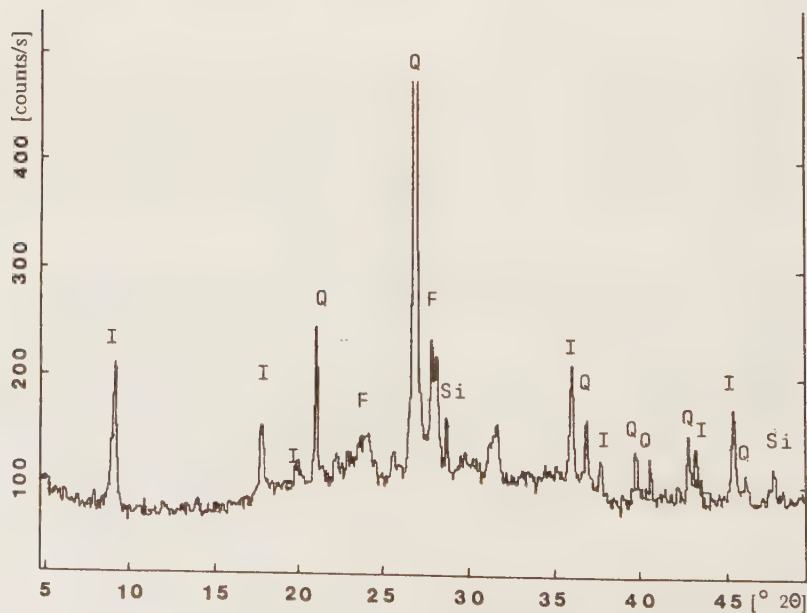


Abb. 62b: Diffraktogramm des gebrannten Tones T9630

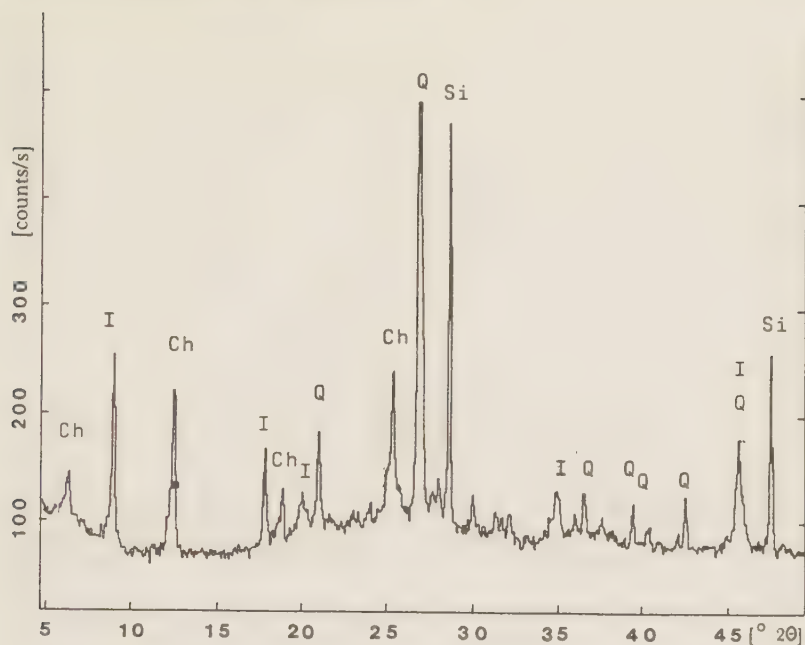


Abb. 63a: Diffraktogramm des blauen Tones T9636

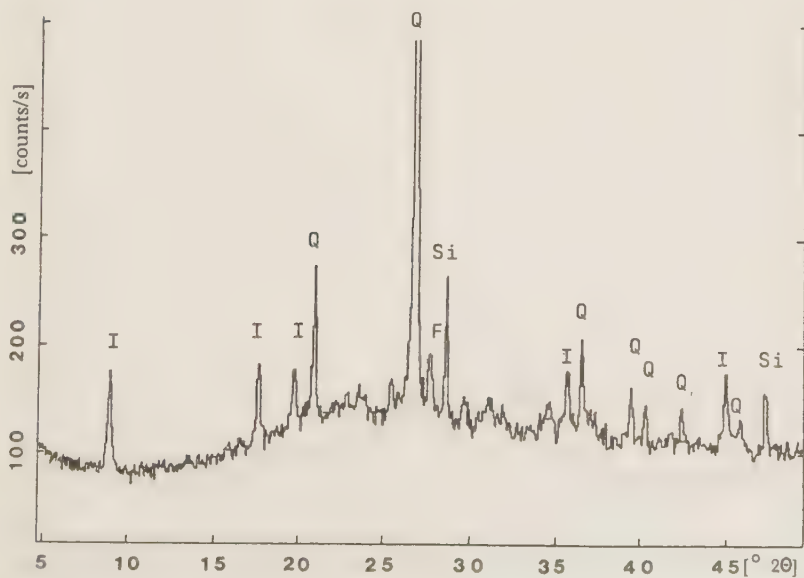


Abb. 63b: Diffraktogramm des gebrannten blauen Tones T9636

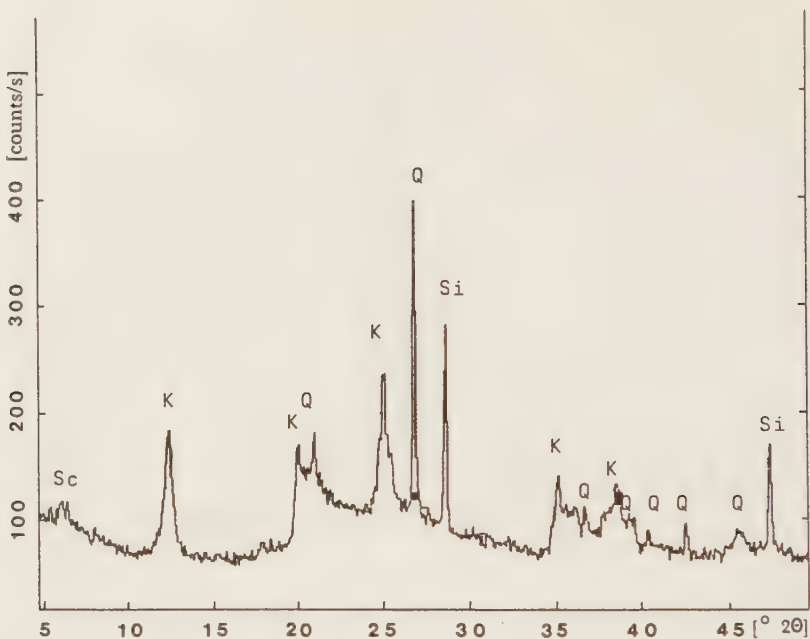


Abb. 64a: Diffraktogramm des violetten Tones TH32
K - Kaolinit, Sc - Smectit

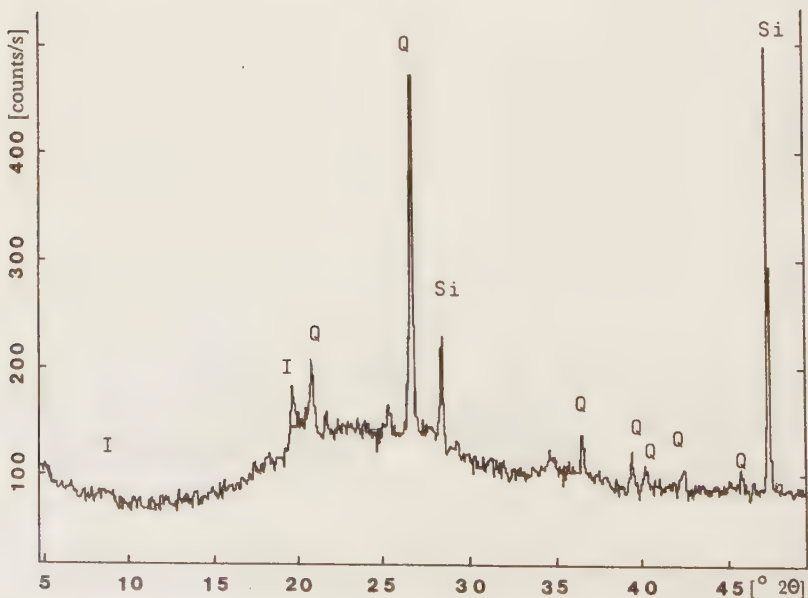


Abb. 64b: Diffraktogramm des gebrannten violetten Tones TH32

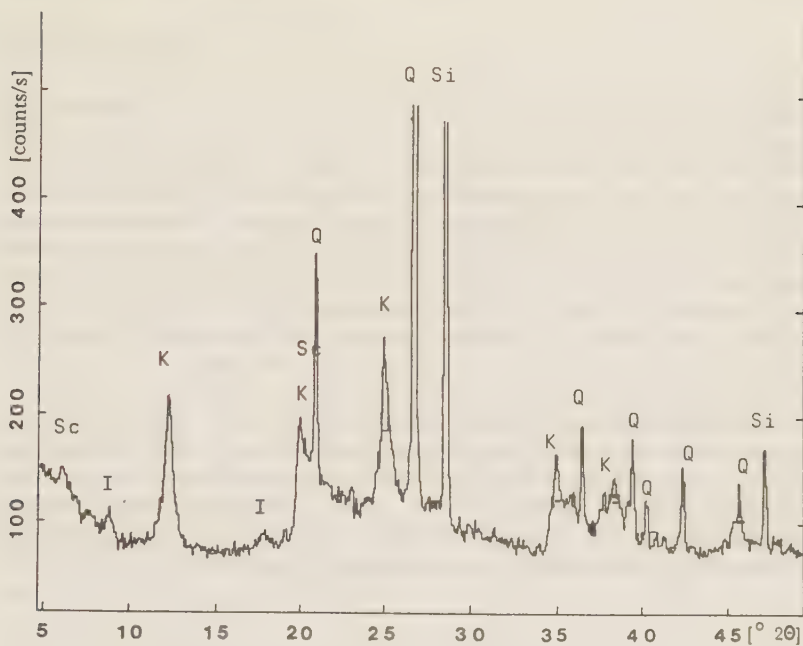


Abb. 65a: Diffraktogramm des braunen Tones TH28

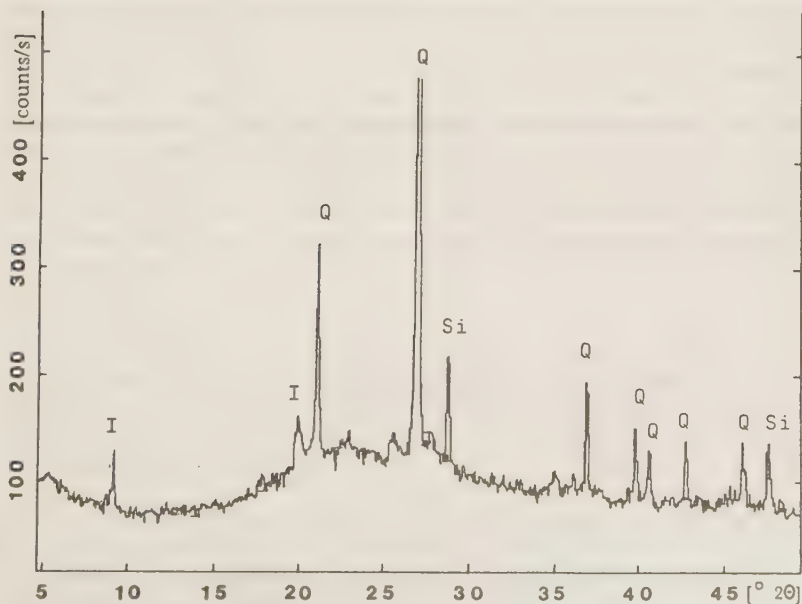


Abb. 65b: Diffraktogramm des gebrannten braunen Tones TH28

Diskussion

Die Diffraktogramme der Kröninger Tone und der Nachbrände führen zu dem Schluß, daß von allen untersuchten Tönen nur die blauen, violetten und braunen Varietäten zur Kröninger Irdenware verarbeitet wurden. Vergleicht man die Diffraktogramme der gebrannten Tone (Abb. 63b - 65b) mit denen der Irdenware (Abb. 58 - 61), so sind die Intensitäten der Quarz - Reflexe der Irdenware zum Teil beträchtlich stärker. Da die Probenpräparation in allen Fällen dieselbe war, dürfte dem Rohston zur Herstellung der Kröninger Irdenware eine Magerung, z. B. in Form eines sandreichen Tones, zugesetzt worden sein.

Zudem erzeugen nur die Nachbrände der blauen, violetten und braunen Tone einen keramischen Scherben, der in Brennfarbe und Härte mit dem Scherben der Kröninger Irdenware vergleichbar ist. Alle sonstigen kalkreichen, glimmerigen, sandigen Tonvarietäten, die im Profil oberhalb der blauen Tone anstehen, ergeben bei einer Brenntemperatur von 850°C einen meist schon mit dem Fingernagel ritzbaren weichen Scherben, der für Haushaltsgeschirr ungeeignet ist.

Zusammenfassend ist folgendes festzuhalten:

- Die Pulverdiffraktometrie ermöglicht in weit geringerem Maße als die chemische Analytik eine Einteilung der Kröninger Irdenware in Gruppen. Durch den Brennvorgang und eine mögliche Magerung der Tone werden die in den Roh-tonen bestehenden Phasenunterschiede weitgehend verwischt.
- Die Brenntemperaturen dürften zwischen 800° und 950°C gelegen haben. In wenigen Fehlbränden wurden Temperaturen über 1000°C erreicht.
- Auch die Nachbrände von Kröninger Tönen belegen blaue, violette oder braune Kröninger Tone als Rohstoff.

8.3. Mikroskopie

Im Unterschied zur Diffraktometrie liegt der Schwerpunkt der Mikroskopie in der Untersuchung der Magerungsanteile. Die Analyse und Identifizierung der Magerung zur Lokalisierung der Herstellung und Charakterisierung von Keramik beruht auf der Annahme, daß die Hafner ein lokales Magerungsmittel wie auch einen lokalen Ton benutzt haben. Die Masse der lokal hergestellten Keramik muß somit die lokal vorkommenden Gesteine widerspiegeln und kann von importierter Ware anhand deren charakteristischer Magerung, die sich von der lokalen unterscheidet, unterschieden werden. Auf dieser Basis wurden in zahlreichen Arbeiten (z.B. **Hagn** (1983), **Nungässer et al.** (1985), **Okrusch et al.** (1985, 1986), **Schubert** (1986)) erfolgreich qualitative wie auch quantitative Untersuchungen an Magerungskörnern* durchgeführt. **Schubert** (1986) konnte zudem zeigen, daß die Gesamtchemie unter Weglassen petrographischer Ergebnisse zu falschen Interpretationen führen kann. Normalerweise geht man davon aus, daß die überwiegende Mehrheit der Proben die lokalen Produkte aus lokalen Tönen repräsentiert und die Ausreißer aus fremder Herstellung sind. **Schubert** (1986) konnte bei seinen Untersuchungen an neolithischer Keramik nachweisen, daß die Mehrheit der Scherben mit einem künstlichen Magerungsmittel aus der weiteren Umgebung und nur wenige Stücke unter Benutzung der lokalen Sedimente hergestellt wurden.

Ausgewählte Dünnschliffe von den mittels RFA analysierten Proben Kröninger Irdenware und gebrannten Tönen wurden mit dem Polarisationsmikroskop untersucht. Mit einem Pointcounter wurde der gesamte Dünnschliff in die Einzelphasen der Magerung, Matrix und Poren aufgeschlüsselt (8.3.1). Weiter wurde die Keramik anhand der Größe der darin enthaltenen Magerungskörner gegliedert (8.3.2.).

* Unter **Magerung** versteht man alle nicht plastischen Bestandteile, die in einem Ton enthalten sind (natürliche Magerung) oder die absichtlich später zugefügt wurden (künstliche Magerung). Zusammen ergeben sie dann die effektive Magerung. **Maggetti** (1979) schließt alle Körner mit einer Korngröße $> 0.015\text{mm}$ in den Begriff mit ein. Künstliche Magerung kann anhand kantiger Formen (z.B. Calcit: aufgrund seiner geringen Härte würden Kanten in einem Sediment nicht beständig sein), anderer Färbung, anderer Mineralogie oder durch einen Korngrößenhiatus im Magerungsbestand erkannt werden.

8.3.1. Mikroskopische Phasenuntersuchungen

In Erweiterung der rein qualitativen Beschreibung des Mineralbestandes in der Kröninger Irdenware (**Hagn** (1983)) wurde mit Hilfe des Pointcounters der Phasen - (Mineral -) bestand quantitativ erfaßt, um die Aussagekraft bezüglich einer Gruppentrennung zu überprüfen.

Es wurde eine Auswahl von Dünnschliffen aus fünf Fundgruppen der Kröninger Irdenware ausgewertet (Tab.24). Dabei handelt es sich um Proben aus Jesendorf (Schickerbauer - JS) und Hundspoint (H, HF), als Vertreter der Hauptgruppe II und um Proben aus Kleinbettenrain (KL und KD), als Vertreter der Hauptgruppe I. Betrachtet man den Phasenbestand, so fällt auf, daß sich die Mittelwerte der

[%]-Gehalte aller Fundgruppen unter Berücksichtigung der Standardabweichung mehr oder weniger stark überlappen. Keine der Gruppen kann sicher von einer anderen getrennt werden. Aber dennoch lassen sich gewisse Trends erkennen, wenn man nur die Mittelwerte betrachtet. So haben z.B. die Proben der Hauptgruppe I weniger "Poren" und weniger "Magerung" als die Dünnschliffe der Hauptgruppe II und in der Zusammensetzung der Magerung gibt es Unterschiede, die jedoch nicht signifikant sind.

Tabelle 24: Phasenbestand der Kröninger Irdenware
(1000 Punkte wurden pro Dünnschliff gezählt)

a) Phasenbestand der Dünnschliffe, gemittelt über die Fundgruppen

	JS n = 7 $\bar{X}$ (s)	KL n = 8 $\bar{X}$ (s)	H n = 4 $\bar{X}$ (s)	HF n = 11 $\bar{X}$ (s)	KD n = 9 $\bar{X}$ (s)
Magerung ¹	18.6(3.5)	14.4(5.4)	23.0(10.5)	19.8(4.5)	16.3(3.3)
Matrix ²	77.9(1.3)	83.8(1.8)	74.0(5.3)	76.3(2.5)	81.0(3.6)
Poren ³	3.5(1.1)	1.8(0.6)	3.0(1.0)	3.9(1.1)	2.7(1.1)

b) Mineralbestand der Magerung, Vol% gemittelt über die untersuchten
Scherben, geordnet nach Fundgruppen (n - Zahl der untersuchten Dünnschliffe)

Alkalifeldspäte ⁴	4.9(2.8)	1.7(1.1)	3.5(0.7)	5.8(3.8)	5.8(3.2)
Plagioklas ⁵	2.2(1.0)	1.4(2.8)	1.9(2.1)	0.7(0.9)	/
Quarz ⁶	71.5(6.9)	76.3(12.8)	63.0(9.5)	76.9(8.5)	87.1(12.1)
Glimmer ⁷	5.4(2.0)	2.3(2.2)	4.5(2.6)	6.1(2.8)	< 0.6
Mafite ⁸	3.9(1.4)	1.5(1.1)	2.4(1.1)	3.6(2.5)	1.6(0.8)
Gesteinsfragmente ⁹	12.0(4.5)	16.7(17.9)	24.6(24.4)	6.9(4.3)	4.6(2.9)

- 1 : Unter der Magerung werden alle Bestandteile > 0.03mm zusammengefaßt.
- 2 : Die Matrix umfaßt alle mikroskopisch nicht weiter auflösbaren Phasen, meist Tonminerale, und alle Magerungskörner < 0.03 mm.
- 3 : Auch bei den Poren werden nur die > 0.03 mm ermittelt.
- 4 : Es werden nur Feldspäte mit Mikroklinzwillingen erfaßt.
- 5 : Alle anderen Feldspäte.
- 6 : Quarz tritt in verschiedenen Ausbildungen auf wie z. B. als Pflasterquarz, gerundete Einzelkristalle, die zum Teil homogen, zum Teil undulös auslöschten.
- 7 : Zu den Glimmern wurden alle als Schichtsilikate erkennbaren Minerale gerechnet.
- 8 : Diese Gruppe besteht aus den stark gefärbten und opaken Mineralien wie z.B. Hornblende, Erzphasen.
- 9 : Gesteinsfragmente (Verbund von z. B. Quarz + Feldspat + Glimmer)

8.3.2. Mikroskopische Korngrößenuntersuchungen

Da in vielen Fällen schon megaskopisch Unterschiede in der Magerung (Menge und Größe der Magerungskörner) der Kröninger Irdenware erkannt werden können (Grasmann 1981), wurde diese Variable zur Unterscheidung von Fundgruppen benutzt. Hierzu wurden in den Dünnschliffen alle Anschnitte von Magerungskörnern $> 0.27\text{mm}$ mit einem Mikroskopmikrometer vermessen. Die untere Schranke wurde auf 0.27mm festgelegt, da die untersuchten Tone (Anhang V) nur wenige Anschnitte mit einem größeren Durchmesser aufweisen.

Mit dem Mikroskopmikrometer können nur Anschnitte von dreidimensionalen Körpern gemessen werden und es ist nicht möglich (sog. Schnitteffekt), damit auf den genauen Magerungsanteil der Keramik zu schließen. Die Längenmessungen sind jedoch dem Magerungsanteil proportional und somit können verschiedene Proben miteinander verglichen werden. Als Vergleichsgrößen wurden aus den Einzelwerten der Mittelwert der Einzelprobe (Anhang IV), der Mittelwert der Fundgruppen und der Körnungsindex KI (Tabelle 25) berechnet. Der Körnungsindex errechnet sich aus der Summe der Einzelwerte dividiert durch die Gesamtfläche der betrachteten Dünnschliffe: Je größer der Körnungsindex eines Dünnschliffes oder einer Fundgruppe, umso höher ist der Magerungsanteil der Einzelprobe bzw. der Fundgruppe. Da man damit nicht unterscheiden kann, ob die gemessene Magerung aus vielen kleinen Körnern oder wenigen großen Körnern besteht, wurde in den Abbildungen 66 und 67 der Körnungsindex jeweils gegen den arithmetischen Mittelwert der Längenmeßwerte der Kornanschnitte aufgetragen.

Mit dieser Methode können Keramikgruppen unterschieden werden, die aus dem gleichen Ausgangston, aber unterschiedlicher Magerung oder auch aus unterschiedlichen Tönen hergestellt wurden.

Aus dem Variationsdiagramm in Abbildung 66 (Meßwerte gemittelt über die Fundgruppen) geht hervor, daß die Keramik der Hauptgruppe I deutlich geringer, aber feiner als die Keramik der Hauptgruppe II (große Vierecke) gemagert ist. Die Proben der Fundgruppe Bina (Stall) (ausgefüllte Vierecke) nehmen dabei eine Sonderstellung ein. Sie sind innerhalb der Hauptgruppe II am geringsten gemagert. Von der Irdenware der Hauptgruppe I sind vor allem die reduzierend gebrannten Fundgruppen stark gemagert. Die oxidierend gebrannte Ware von Jesendorf (Wippenbeck) ($KI=6.1$) ist wesentlich geringer als die reduzierend gebrannte Ware ($KI=25.4$) gemagert. Das gleiche gilt auch, mit kleineren Unterschieden als bei der Irdenware aus Jesendorf (Wippenbeck) für die Fundorte Hub und Kleinbettenrain.

In Abbildung 66 sind auch die Punkte der drei untersuchten Tone T9646 (violetter Ton), T9638 (blauer Ton) und TH27 (brauner Ton) dargestellt. Wie schon erwähnt, kommen diese Tone als Ausgangston zumindest für die Irdenware der Hauptgruppe I in Frage. Die darstellenden Punkte haben einen Korngrößenindex nahe Null, d.h. sie weisen fast keine Magerungskörner $> 0.27\text{mm}$ auf (Definition der unteren Grenze).

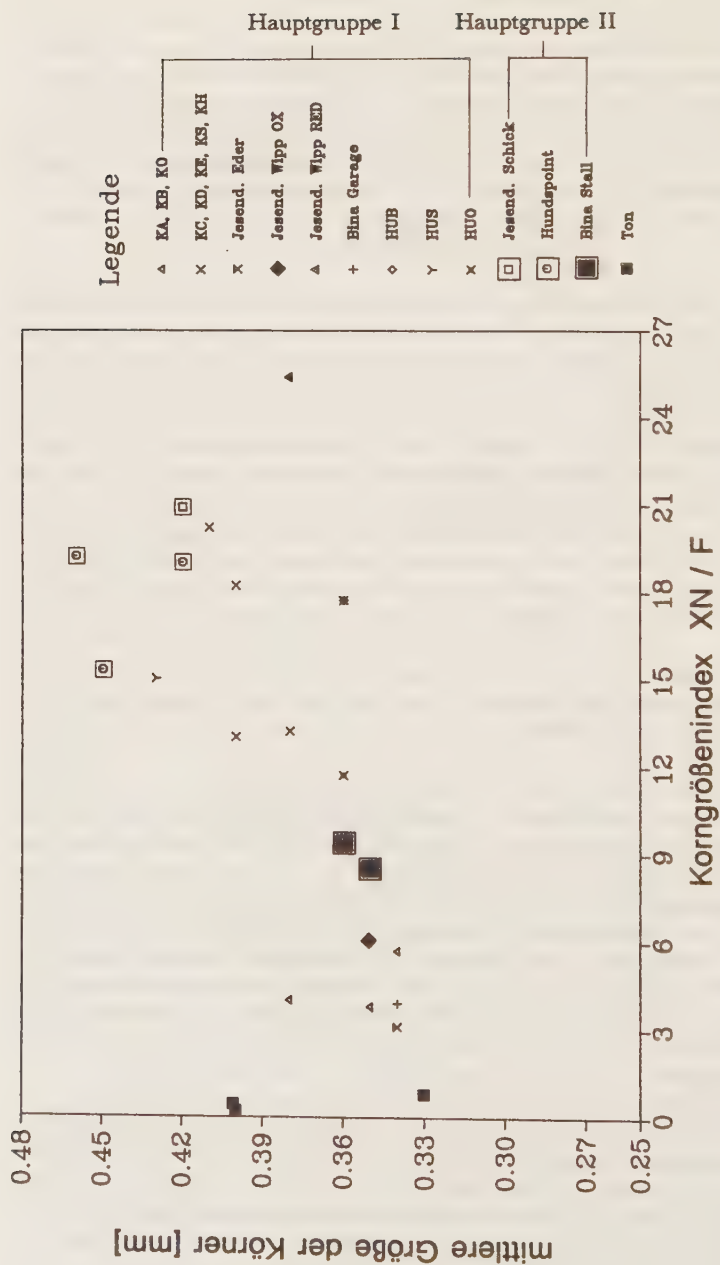


Abb. 66: Variationsdiagramm : arithmetischer Mittelwert der Meßwerte der Längenmessungen von Anschnitten gegen den Korngrößenindex, gemittelt über die Fundgruppen. Fundgruppen aus Kleinbetten - rain: KA,KB,KC,KD,KE,KO,KS,KH aus Hub: HUB,HUS,HUO

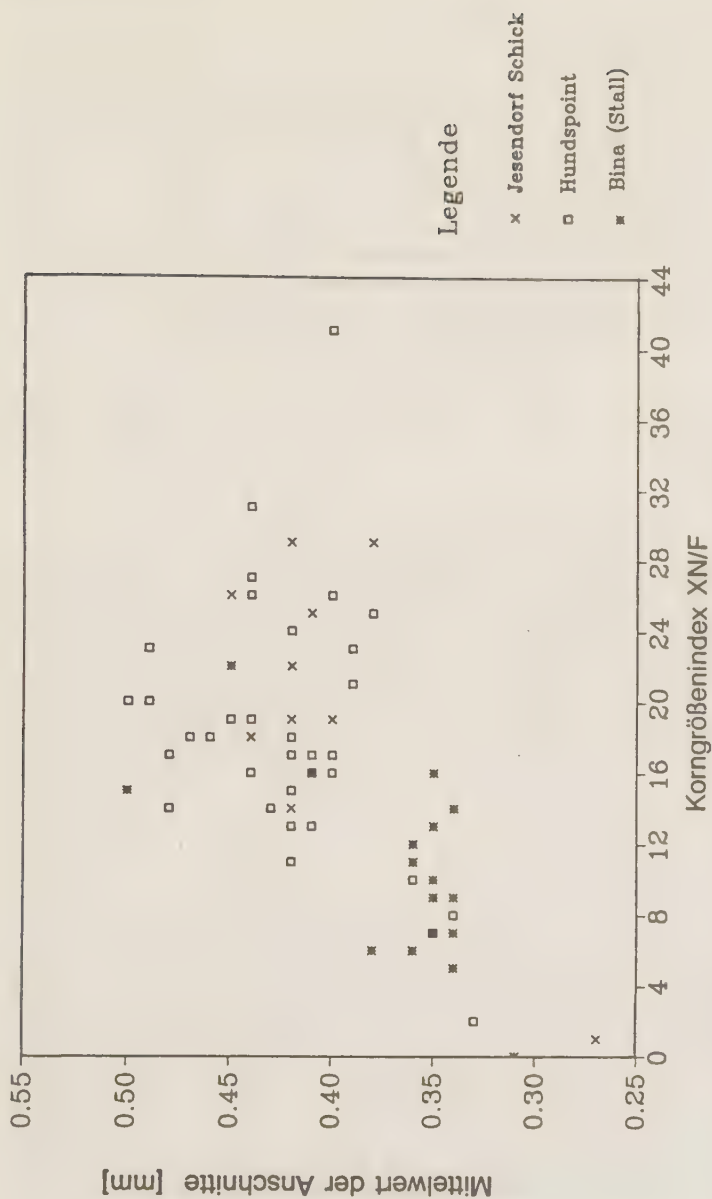


Abb. 67: Variationsdiagramm der Hauptgruppe II: Mittelwert der Meßwerte der Längenmessungen von Anschnitten der Magerungskörner gegen den Korngrößenindex, gemittelt über die Einzelproben

Tabelle 25 : Ergebnisse der Korngrößenmessungen (vgl. Abb. 66, 67).

FG	=	Fundgruppe
X(+ - S)	=	Mittelwert der Mittelwerte der Längenmessungen von Kornan - schnitten der Dünnschliffe > 0.27mm (Standardabweichung) [mm]
S	=	Standardabweichung der Einzelmessungen [mm]
Max.	=	größter Meßwert [mm]
Z	=	Zahl der Dünnschliffe
N	=	Zahl der gemessenen Körner > 0.27 mm
MW - KI	=	Mittelwert der Korngrößenindizes mit KI = $XD \cdot ND / F$
F	=	Meßfläche eines Dünnschliffes [cm ²]
XD	=	Mittelwert der Meßwerte eines Dünnschliffes [mm]
ND	=	Zahl des gemessenen Körner eines Dünnschliffes

A: Fundgruppen

FG	X (+-S)	S	Max.	Z	N	MW-KI	+S
KA	0.35 (.01)	.08	.91	6	130	3.8	2.3
KB	0.34 (.01)	.05	.51	7	143	5.7	7.1
KC	0.40 (.03)	.13	1.83	7	434	13.0	9.9
KD	0.41 (.02)	.18	2.56	9	848	20.2	5.0
KE	0.40 (.02)	.13	1.65	10	909	18.2	8.9
KO	0.38	.12	.64	1	18	4.0	
KS	0.38 (.03)	.12	1.83	4	277	13.2	6.1
KH	0.36 (.02)	.08	.91	4	340	17.7	7.3
JS	0.42 (.01)	.16	1.43	8	732	20.9	5.0
JE	0.34 (.03)	.06	.78	7	103	3.1	1.9
JWO	0.35 (.03)	.10	.99	5	111	6.1	5.1
JWS	0.38 (.02)	.14	1.68	5	796	25.4	11.6
HA	0.45 (.02)	.19	1.28	2	150	15.3	3.5
HB	0.46 (.03)	.22	2.47	8	420	19.2	3.9
HC	0.42 (.03)	.17	1.65	7	538	19.0	8.4
BA	0.35 (.01)	.07	.71	15	615	8.5	4.0
BG	0.34 (.02)	.07	.73	16	326	3.9	3.2
HUB	0.36 (.01)	.09	1.23	3	294	17.7	4.0
HUS	0.43 (.02)	.16	1.50	3	240	15.0	2.6
HUO	0.36 (.01)	.08	.91	3	245	11.7	4.9

B: Vergleichsproben

FG	X ($\pm S$)	S	Max.	Z	N	MW-KI	$\pm S$
OZ	0.37 (.02)	.11	1.01	4	236	15.2	9.3
GD	0.37 (.10)	.23	1.46	2	24	2.0	1.4
H	0.41 (.04)	.17	1.46	4	260	26.7	9.7
HF	0.42 (.01)	.17	1.78	11	641	17.7	4.0
RP	0.61 (.07)	.29	1.83	2	102	9.0	2.8

C: Tone

FG	X	S	Max.	Z	N	MW-KI
T9646	0.40	.28	1.55	19	19	.16
T9638	0.40	.14	.95	21	35	.29
TH 27	0.33	.06	.42	1	7	.89

In Abbildung 67 ist der Körnungsindex gegen den Mittelwert der Anschnitte aus den Einzelschliffen für die Hauptgruppe II aufgetragen, um eine Vorstellung von der "wahren" Streubreite innerhalb einer Fundgruppe zu geben. Ein Vergleich mit Abbildung 66 zeigt, daß diese nur eine sehr vereinfachte Darstellung der Gegebenheiten ist. Man sieht weiter, daß vereinzelt Proben der einen Fundgruppe im Feld einer anderen Fundgruppe liegen. Bei den drei Proben aus Hundspoint, die im Feld von Bina (Stall) liegen, handelt es sich um oxidierend gebrannte Proben, die bereits anhand der chemischen Zusammensetzung als "Ausreißer" erkannt wurden (siehe Kap. 8.1.).

Diskussion

Verglichen mit der chemischen Analytik besitzt die Lichtmikroskopie bei der Charakterisierung der verschiedenen Fundgruppen Kröninger Irdenware eine weit geringere Aussagekraft. Dies gilt besonders für die Phasenuntersuchungen, die selbst bei quantitativer Auswertung die chemisch gut definierten Hauptgruppen I und II nicht unterscheiden kann. Die Ursache dafür ist in der ähnlichen Phasenzusammensetzung der von den Hafnern benutzten Tönen wie auch in den Magerungsmitteln zu suchen, denn, wie die chemische Analytik gezeigt hat, haben die Hafner nur die kalkarmen Varietäten der Kröninger Lagerstätten benutzt. Die wesentlichen Unterschiede zwischen diesen Tonvarietäten liegen in einer Korngrößenfraktion, die lichtmikroskopischen Methoden nur schwer oder überhaupt nicht zugänglich ist. Inwieweit eine Schwermineralanalyse hier genauere Aussagen zulassen würde, wurde nicht überprüft.

Die Korngrößenuntersuchungen lassen demgegenüber ein differenzierteres Bild und im Vergleich zur chemischen Analytik sogar einige Vorzüge erkennen. Da nach

der Definition der Körnungsindex der Tone nahe Null liegt, zeigt eine Korngrößenanalyse sofort, ob eine Keramik aus dem entsprechenden Ton hergestellt worden sein kann oder nicht. Da eine Schlämmung bei der Kröninger Idenware nicht in Frage kommt, zeigt sie auch eine Magerung an, vorausgesetzt man kennt den Ton. Anhand der chemischen Untersuchungen kommen als Rohstoff für die Kröninger Idenware hauptsächlich die blauen, violetten und auch braunen Tonvarietäten in Frage, die in Abbildung 67 mit den Tönen T9638 (blau), T9646 (violett) und TH27 (braun) vertreten sind. Bis auf wenige Ausnahmen (siehe Anhang IV, auch Abb.67), zu denen auch die Proben der "Extremgruppe" zu zählen sind, besitzen die untersuchten Dünnschliffe einen weitaus größeren Körnungsindex, der maximal 43 erreicht. Unter der Voraussetzung, daß die genannten Tonvarietäten auch benutzt wurden, bleibt somit nur der Schluß, daß diese erst nach einer künstlichen Magerung, z.B. mit einem anderen sandigeren Ton (vgl. Kap. 8.1.3.), zur Idenware gebrannt wurden.

Die Korngrößenanalyse legt weiterhin nahe, daß für die oxidierend gebrannte Ware meist ein anderer Ton als für die reduzierend gebrannte benutzt wurde (Werkstätten aus Kleinbettenrain, Jesendorf (Wippenbeck) und auch von der Bina). Besonders deutlich wird dieser Unterschied bei der Idenware von Jesendorf (Wippenbeck). Konnte aufgrund der chemischen Analyse die oxidierend von der reduzierend gebrannten Ware nicht getrennt werden, so gelingt dies mit dem Körnungsindex sehr gut, da er für beide Brennverfahren stark unterschiedliche Mittelwerte annimmt. Ob diese Unterschiede nun durch verschiedene Ausgangstone oder durch unterschiedliche "Magerung" desselben Tones hervorgerufen wurden, kann hiermit nicht beantwortet werden.

Wie schon festgestellt, nimmt die Idenware von Bina (Stall) chemisch eine Sonderstellung innerhalb der Kröninger Idenware ein, die auf der Verwendung von lokalem Ton von der Bina beruht. Auch die Korngrößenanalyse spricht für diese Deutung, denn verglichen mit allen anderen Dünnschliffen der Hauptgruppe II, besitzt diese Fundgruppe einen sehr niedrigen Körnungsindex (Abb.66, 67). Auch wenn vereinzelt Probenpunkte im Feld der Hauptgruppe II liegen (Abb.67), so besteht doch eine deutliche Trennung von den Fundgruppen Hundspoint und Jesendorf (Schickerbauer).

9. Die Glasur der blau glasierten Kröninger Irdenware

Bei der Kröninger Irdenware handelt es sich überwiegend um Gebrauchsgeschirr, das glasiert und unglasiert, oxidierend oder reduzierend gebrannt in den Handel kam. Die blau glasierte Irdenware nahm innerhalb der Kröninger Irdenware eine Sonderstellung ein, da sie zweimal gebrannt und mit einer undurchsichtigen kobaltblau gefärbten Glasur überzogen wurde (Grasmann 1978). Aufgrund dieser Glasur wurde die Kröninger "Blaue Ware" lange Zeit als Fayence angesprochen, bis Fitz (1982) zeigte, daß das Kröninger-Blau nicht eine Fayence im eigentlichen Sinne, d.h. mit SnO_2 als Trübungsmittel ist. Fitz (1982) führt die Trübung auf das Auskristallisieren von Nephelin zurück.

Es gibt vier grundsätzliche Möglichkeiten, weißgetrübte Glasuren, zu der auch die Fayenceglasur zählt, zu erzielen (Matthes 1985):

1. durch nicht in der Glasur lösliche Weißpigmente (z.B. SnO_2 in der echten Fayenceglasur).
2. durch Kristallisation kleinster Kristalle in der Glasurschmelze während des Abkühlens, wobei ein großer Unterschied in den Brechungsindizes bestehen sollte (z.B. TiO_2 oder Zirkontrübung).
3. durch Entmischung der Glasurschmelze in nicht mischbare Schmelzen verschiedener Zusammensetzung, so daß in der Glasur feinste Tröpfchen in einer Glasphase vorliegen, die entweder glasig oder kristallin erstarren können (Borat-rübung, Ca - Phosphattrübung).
4. durch feinste Gasbläschen, die in einer hochviskosen Schmelze erhalten bleiben.

Die hier beschriebenen Untersuchungen haben das Ziel, die blaue Glasur und speziell das Trübungsmittel element- und phasenanalytisch zu charakterisieren.

9.1. Röntgendiffraktometrie der Glasuren

Wie von Fitz (1982) beschrieben, wird die Trübung in der blauen Glasur bei Kröninger Irdenware durch eine kristalline Phase verursacht, die aufgrund des Brechungsindexunterschiedes zur Umgebung eine starke Lichtstreuung bewirkt. Zur Bestimmung dieser Phase wurden blaue Glasuren von vier verschiedenen Scherben* mit einem Philips-Pulverdiffraktometer (Cu K - Alpha - Strahlung im Wellenlängenbereich von 5 bis $40^\circ 2\theta$) untersucht. Eine Auswertung der Diffraktogramme (Tabelle 26) führte zu Pyromorphit, einem Bleiphosphat der Zusammensetzung $(\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl})$. Gegen Nephelin, wie von Fitz (1982) vorgeschlagen, spricht das Fehlen von einigen Nephelin-Reflexen im Pulverdiagramm (vgl. Tabelle 26). Der Reflex bei 3.33 Å könnte für eine Beteiligung von SnO_2 an der Trübung sprechen, da an dieser Stelle der Hauptreflex des SnO_2 liegt. Andere SnO_2 -Reflexe konnten jedoch nicht nachgewiesen werden.

* Sie wurden von Herrn Lambert Grasmann zur Verfügung gestellt .

Tabelle 26: d - Werte von vier Glasurproben (P1 - P4) der "Blauen Ware", Pyromorphit und Nephelin (in Klammern die Intensitäten der Reflexe, vgl. auch Abb. 68, 69):
Ne - Nephelin, Py - Pyromorphit

P1	P2	P3	P4	Fitz (1982)	Ne	Py
4.13(30)	4.13(20)	4.07(20)	4.12(20)	4.15(35)	4.18(70)	4.13(45)
3.65(30)	3.64(30)	3.64(40)	3.64(35)	3.68(50)		3.67(8)
3.34(30)	3.33(10)	3.32(50)	3.33(20)			
	3.28(15)	3.21(15)	3.29(20)	3.29(70)	3.27(70)	3.27(35)
					3.17(30)	
3.00(100)	2.99(100)	2.99(100)	2.99(100)	3.01(100)	3.00(100)	2.99(100)
2.95(50)	2.95(30)	2.95(40)	2.94(50)			2.96(100)
2.90(50)	2.89(25)	2.90(40)	2.90(35)	2.91(20)	2.88(70)	2.89(60)
					2.57(50)	
					2.49(40)	
					2.39(30)	
					2.34(60)	
					2.30(40)	
2.07(20)	2.06(15)	2.07(15)	2.06(15)	2.08(20)	2.08(40)	2.07(35)
	1.95(15)	1.95(15)	1.95(25)	1.96(50)	1.93(50)	1.98(10)
				1.94(20)		1.96(20)
1.93(20)			1.92(20)			1.92(25)
			1.87(15)	1.88(5)	1.88(40)	1.89(20)
1.86(25)						
					1.79(40)	
					1.70(30)	
					1.62(40)	
					1.60(30)	
					1.56(60)	
				1.54(20)		

In Abbildung 68 und 69 sind die Diffraktogramme einer hell- und einer dunkelblauen Glasur von Kröninger Irdenware, zum Vergleich in Abbildung 70 eine Fayenceglasur (Probe Nr. ISL 273)* mit 50% PbO und in Abbildung 71 eine Fayenceglasur mit 10 - 20% PbO (ISL 298)* dargestellt. Es handelt sich bei den Fayenceglasuren um früh-islamische Bleiglasuren, die wie deutlich zu erkennen ist, mit SnO₂ als Trübungsmittel ihren undurchsichtigen Charakter erhielten. Probe ISL273 zeigt nur starke SnO₂-Reflexe im Unterschied zu ISL298, in der zusätzlich noch Diopsid-Reflexe auftreten. Ein Vergleich der Abbildungen 68 - 71 macht deutlich, daß es sich bei den trübenden Kristalliten in den blauen Glasuren der Kröninger Irdenware weder um SnO₂ noch um Diopsid handeln kann, sondern vielmehr um die oben erwähnte Pyromorphit-ähnliche Phase.

* Beide Proben wurden freundlicherweise von Dr. Barbara Kleinmann (Mannheim) zur Verfügung gestellt.

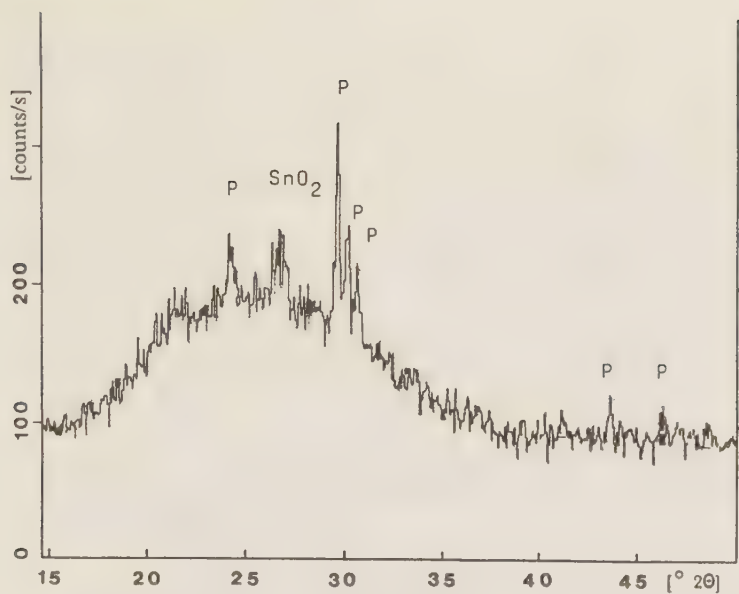


Abb. 68: Diffraktogramm der hellblauen Kröninger Glasur P2
P – Pyromorphit

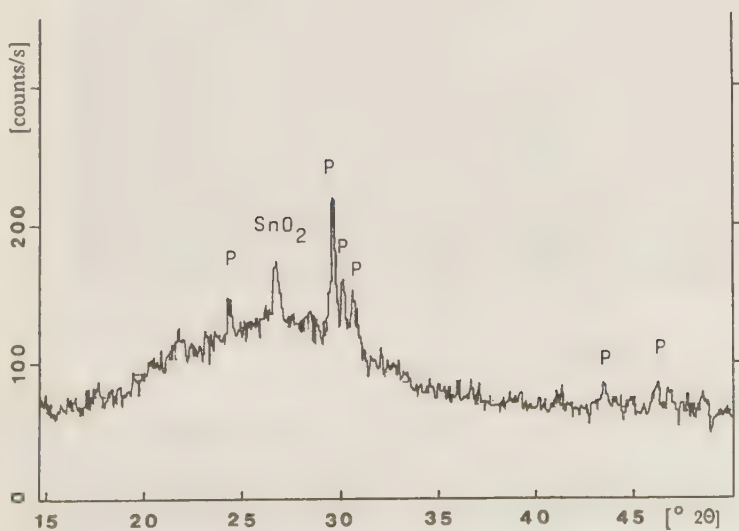


Abb. 69: Diffraktogramm der dunkelblauen Kröninger Glasur P3

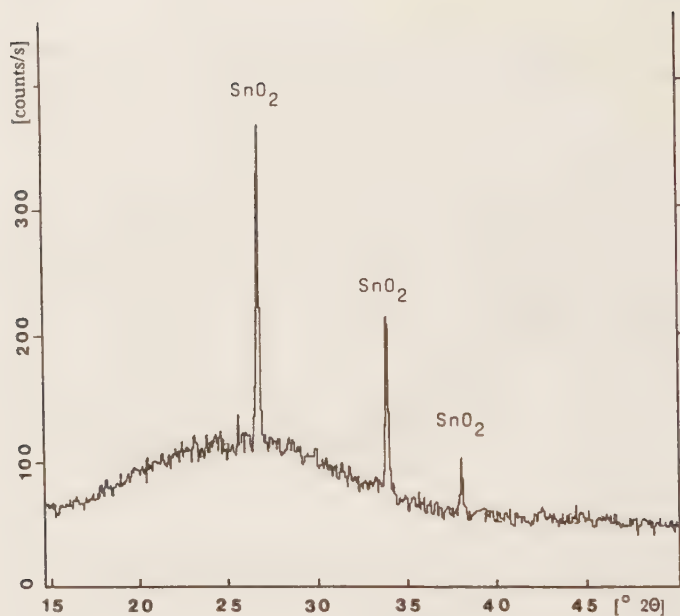


Abb. 70: Diffraktogramm einer frühislamischen Fayenceglasur (ISL273) mit etwa 50% Blei

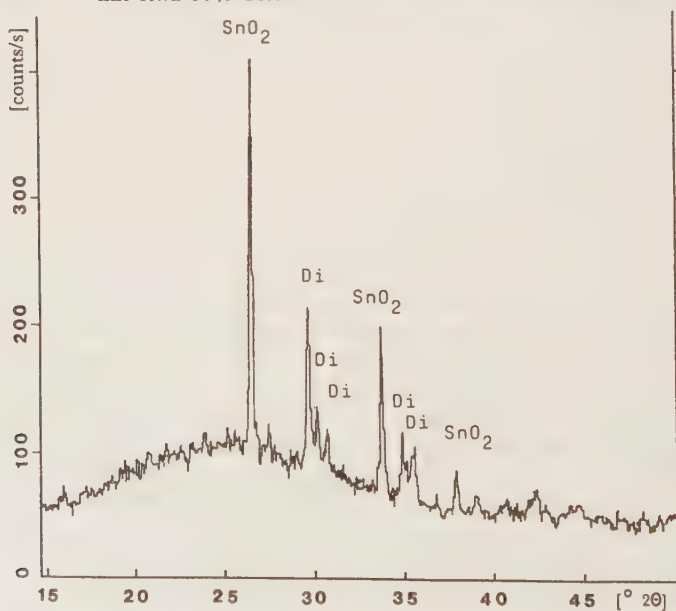


Abb. 71: Diffraktogramm einer frühislamischen Fayenceglasur (ISL298) mit 10-20% Blei. Di - Diopsid

9.2. Mikroskopie der Glasuren

Wie zu erwarten, läßt die Mikroskopie nur wenige Aussagen zu, da es sich bei einer Glasur um ein Glas handelt. In unserem Fall ist jedoch die Glasur getrübt und die Auswertung zweier Dünnschliffe (vgl. Abb.72) bringt folgendes Ergebnis:

- Die Trübung wird von nadeligen Kristalliten verursacht, die leicht bräunlich gefärbt sind und wirr durcheinander wachsen. Im allgemeinen sind die Kristallite so klein ($< 10 \mu\text{m}$ bei einer Dicke $< 1 \mu\text{m}$), daß meist keine optischen Parameter bestimmt werden können. In einem Dünnschliff jedoch konnte an einigen Kristalliten festgestellt werden, daß der Brechungsindex der Glasphase größer als der des Einbettungsmediums ($n = 1.54$) ist, und daß der Brechungsindex der Kristallite größer als der der amorphen Glasphase ist.
- Des weiteren scheinen auch Gasbläschen und/oder Glaskügelchen anderer Zusammensetzung (im Mikroskop ist beides nicht zu unterscheiden) einen Beitrag zur Trübung zu leisten.

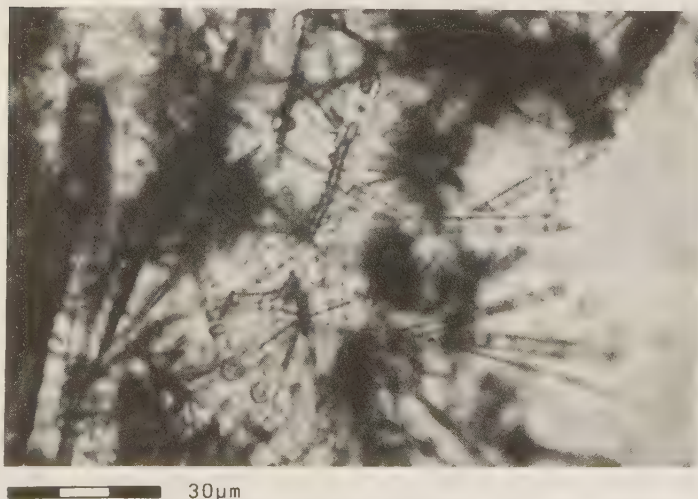


Abb. 72: Ausschnitt eines Dünnschliffes (Vergrößerung 865 mal) der Glasur P2

Nach Rösler (1984) kristallisiert Pyromorphit hexagonal (dipyramidal), auch nadelig, und besitzt die Brechungsindizes $n_o = 2.061$ und $n_e = 2.049$. Ein Vergleich bestätigt die Vermutungen, daß es sich bei der kristallinen Substanz um eine Phase mit einer ähnlicher Zusammensetzung wie Pyromorphit handeln kann. Auch hier scheidet Nephelin (Fitz 1982) mit einem Brechungsindex $n \leq 1.54$ aus.

9.3. Rasterelektronenmikroskopie der Glasuren

Eine Aufnahme mit dem Rasterelektronenmikroskop (Abb.73) zeigt deutlich die Kristallite, die aufgrund von Diffraktogrammen als Pyromorphit - ähnliche Kristallite gedeutet werden. Eine Auswertung der Energiespektren (Abb.74, 75) läßt die Unterschiede zwischen der amorphen Glasur und den Kristalliten erkennen. Während die amorphe Glasur erhöhte Konzentrationen an Si, Al und auch Fe aufweist, zeigen Bereiche mit Kristalliten eine deutliche Erhöhung an Pb, Ca und Mg. Auch dies ist ein Hinweis auf eine kristalline Phase, in welcher Blei gegenüber der Umgebung angereichert ist.



Abb. 73: REM - Aufnahme der Glasuroberfläche der Probe P4

Alle Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, daß es sich - wie schon von **Fitz** (1982) festgestellt - um keine Fayence im üblichen Sinne handelt. Im Unterschied zur Aussage von **Fitz** (1982) wird die Trübung der Glasur nicht durch Nephelin, sondern durch eine Phase hervorgerufen, die eine Pyromorphit - ähnliche Zusammensetzung besitzen muß. SnO_2 ist, wenn überhaupt, nur untergeordnet an der Trübung beteiligt.

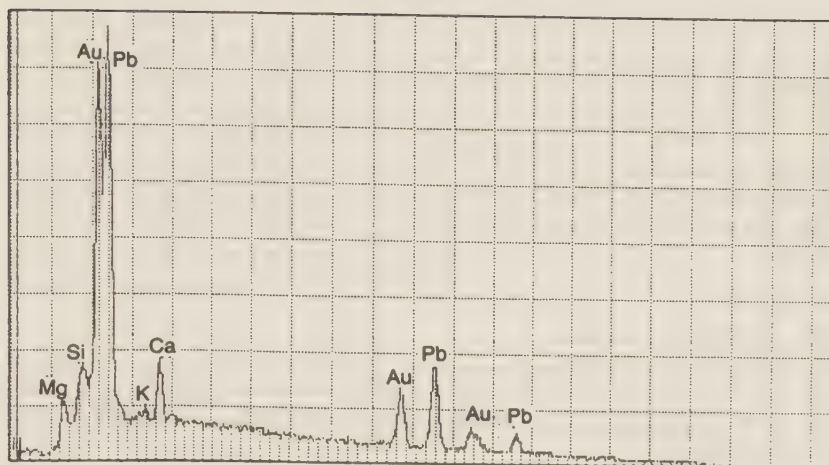


Abb. 74 : Energiespektrum eines Kristalliten (vgl. Abb.73 (Punkt 1))

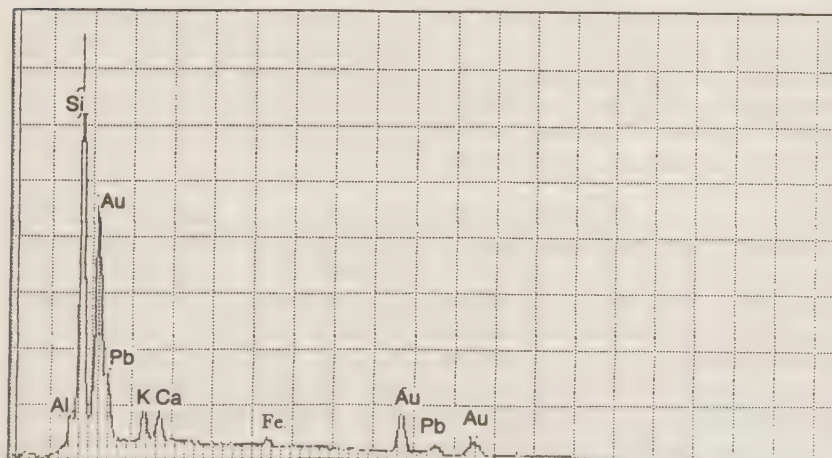


Abb. 75 : Energiespektrum der Matrix zwischen den Kristalliten (vgl. Abb. 73 (Punkt 2))

10. Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde mit chemischen und mineralogischen Methoden spätmittelalterliche bis neuzeitliche Kröninger Irdenware untersucht und charakterisiert. Die zur Herstellung dieser Irdenware in Frage kommenden Tone der Region, besonders die Kröninger Tone, wurden analysiert und mit der Kröninger Irdenware in Beziehung gesetzt. Brennversuche an zwei ausgewählten Tönen im Temperaturbereich zwischen 450 und 1000°C sowie Nachbrände an verschiedenen Tönen bei 850°C gaben zusätzliche Hinweise bezüglich der Tonaufbereitung, Tonauswahl und der Brenntemperatur der Irdenware. Welche Ergebnisse hat nun die vorliegende Arbeit für die Keramikforschung an Kröninger Irdenware gebracht? Kann die Kröninger Irdenware in mehrere Referenzgruppen eingeteilt werden oder nicht?

10.1. Chemische Analytik

Die chemische Zusammensetzung der Kröninger Irdenware führt zu einer Aufteilung der Werkstätten bzw. Fundgruppen in die deutlich getrennten Hauptgruppen I und II.

Hauptgruppe I : Kleinbettenrain (Wurzer), Kleinbettenrain (Winterstetter),
Jesendorf (Eder), Jesendorf (Wippenbeck), Bina (Garage),
Hub

Hauptgruppe II : Hundspoint, Jesendorf (Schickerbauer), Bina (Stall)

Unter Anwendung multivariater statistischer Methoden gelingt es weiter, alle untersuchten Kröninger Werkstätten (Fundgruppen) mit einer Wahrscheinlichkeit >90% zu unterscheiden. Die Überprüfung der Zuordnungsvorschrift (Diskriminanzfunktionen) mit "unbekannten" Proben (Vergleichsproben) zeigt jedoch, daß eine Zuordnung nur zu den beiden genannten Hauptgruppen, aber nicht zu den Fundgruppen sinnvoll ist. Insgesamt betrachtet führen die Untersuchungen zu dem Schluß, daß eine Unterscheidung **aller** Kröninger Werkstätten anhand der chemischen Analytik nur schwer möglich sein wird.

Dies sei durch einen Vergleich veranschaulicht, wobei die Variation der Kröninger Irdenware in der chemischen Zusammensetzung durch eine Fläche fester Größe dargestellt wird und die verschiedenen Werkstätten bzw. Fundgruppen Kreisen entsprechen, deren Radius den chemischen Variationsbreiten der Fundgruppen proportional ist. Zeichnet man nur zwei Kreise in diese Fläche ein, so ist die Wahrscheinlichkeit gering, daß sich die Kreise stark überlappen. Auf die Werkstätten bezogen bedeutet dies, daß es in den meisten Fällen möglich ist, zwei Werkstätten aufgrund einfacher Methoden (z.B. Variationsdiagramme) voneinander zu unterscheiden. Zeichnet man etwa 10 Kreise ein, so ist es kaum noch möglich, daß sie sich nicht zumindest stellenweise überlappen. Übertragen auf die Werkstätten, versagen hier einfache Diagramme; nur noch mit multivariaten Methoden, die eine Vielzahl unabhängiger Variablen gleichzeitig berücksichtigen, gelingt eine Trennung. Bei einer Zahl von ungefähr 100 (entspricht in der

Größenordnung etwa der Gesamtzahl aller Kröninger Werkstätten) wird es nahezu unmöglich, alle Werkstätten voneinander zu trennen.

Die Untersuchung von acht Werkstätten, die nur wenige Kilometer voneinander entfernt liegen und alle einen mehr oder weniger ähnlichen Ton verwendet haben, zeigt genau diese Problematik. Das bedeutet, daß es wenig sinnvoll ist, die Kröninger Irdenware in Gruppen, die den verschiedenen Werkstätten entsprechen, zu gliedern. Bei zahlreichen archäometrischen Untersuchungen an Keramik hat sich hier die Definition durch Referenzgruppen bewährt.

Die Untersuchungen an Kröninger Irdenware deuten auf zumindest drei Referenzgruppen hin, die hier als Kröning I, Kröning II und Bina bezeichnet werden. Diese Referenzgruppen besitzen folgende chemische (die Definition der Referenzgruppe basiert auf den chemischen Unterschieden, Tabelle 27) wie auch phasenanalytische und megaskopische Charakteristiken.

Tabelle 27: Streuung der Elemente in den Referenzgruppen Kröning I, Kröning II und Bina.

n - Probenzahl, X - Mittelwert, S - Standardabweichung

Element	Kröning I n = 193 X (S)	Kröning II n = 36 X (S)	Bina n = 65 X (S)
[%]			
SiO ₂	69.8(4.3)	70.8(2.1)	73.1(3.4)
TiO ₂	1.28(.13)	0.91(.05)	0.99(.08)
Al ₂ O ₃	23.0(3.2)	19.1(1.3)	16.32(1.5)
Fe ₂ O ₃	3.27(.58)	5.17(.65)	5.06(.73)
MnO	0.02(.02)	0.03(.01)	0.03(.01)
MgO	0.51(.09)	0.93(.15)	0.83(.16)
CaO	0.56(.10)	0.51(.07)	0.60(.08)
K ₂ O	1.18(.21)	1.97(.26)	1.62(.58)
P ₂ O ₅	0.13(.12)	0.13(.09)	0.18(.18)
[ppm]			
Ba	338 (50)	388 (39)	347 (90)
Cr	97 (11)	118 (7)	103 (8)
Ni	28 (5)	34 (6)	28 (5)
Rb	59 (11)	104 (14)	95 (25)
Zn	56 (16)	57 (5)	49 (9)
Zr	201 (56)	222 (20)	236 (17)
Nb	28 (3)	21 (1.4)	21 (1.6)
Y	19 (4)	28 (4)	27 (2)
V	123 (16)	132 (6)	123 (9)

Die Referenzgruppe **Kröning I** entspricht der Irdenware, die der Hauptgruppe I zugeordnet wird (Kleinbettenrain (Wurzer), Kleinbettenrain (Winterstetter), Jesen-

dorf (Eder), Jesendorf (Wippenbeck), Hub, Bina (Garage)). Megaskopisch betrachtet wurde diese Ware sowohl oxidierend wie auch reduzierend gebrannt, wobei in einigen Fundgruppen (z.B. Jesendorf (Eder), Bina "Garage") fast ohne Ausnahme oxidierend gebrannt wurde. Der Scherben zeigt in der Regel eine feinere Magerung als die Ware der Referenzgruppe Kröning II. Charakteristisch ist ferner eine hohe TiO_2 -, Al_2O_3 - und Nb-Konzentration bei niedrigen Fe_2O_3 -, MgO -, K_2O - und Rb-Werten. Hieraus kann als Rohstoff ein kaolinitischer Ton abgeleitet werden, wie er in den violetten bis bräunlichen kaolinitischen Tönen innerhalb der Kröninger Tonlagerstätten auftritt.

Die Referenzgruppe **Kröning II** besteht bisher aus den Fundgruppen der Hauptgruppe II (Hundspoint, Jesendorf "Schickerbauer"), jedoch ohne die Irdenware von der Bina. Äußerliches Kennzeichen ist der reduzierend geführte Brand dieser Irdenware. Von allen untersuchten Fundgruppen zeigen die der Referenzgruppe Kröning II die größte Magerung. Chemisch gesehen sind hohe Fe_2O_3 -, MgO -, K_2O - und Rb-Gehalte bei entsprechend niedrigen TiO_2 - und Al_2O_3 -Gehalten charakteristisch und deuten auf einen illitische-chloritischen Rohstoff hin, wie er in den manchen blauen Kröninger Tönen zu finden ist.

Die Referenzgruppe **Bina** ist bislang nur mit der Werkstatt Bina (Stall) belegt. Ihre Keramik wurde mit großer Wahrscheinlichkeit aus lokalen Tönen aus dem Bina-Tal hergestellt, die sandreicher und kaolinitärmer als die "Kröninger" Tone sind. Als reduzierend gebrannte Ware ähnelt sie chemisch der Referenzgruppe Kröning II. Sie besitzt jedoch im Mittel niedrigere Al_2O_3 -, Cr- und K_2O -Gehalte. Im Mikroskop deutlich sichtbar ist auch eine feinere Magerung als in der Referenzgruppe Kröning II.

Als Besonderheit sei noch die **Extremgruppe** erwähnt, die auch zur Keramik der Referenzgruppe Bina gezählt werden muß. Sie unterscheidet sich in ihrer chemischen Zusammensetzung stark von allen anderen untersuchten Keramikproben, und die Gehalte in vielen Elementen sind mit denen mancher Kröninger Töne zu vergleichen. Der Anteil und die Größe der nichtplastischen Bestandteile erreichen Werte, wie sie nur bei Tönen zu beobachten sind, so daß eine direkte Herstellung aus den Tönen ohne künstliche Magerung anzunehmen ist.

10.2. Rohstoffe

Auswahl der Rohstoffe

Vergleicht man die chemische und mineralogische Zusammensetzung der untersuchten Tonproben mit der der Kröninger Irdenware, so kommen als Rohstoffe für die Kröninger Irdenware nur solche Tonvarietäten in Frage, die den blauen, violetten und bräunlichen Tonvarietäten aus dem Kröning und den sandreichen Tönen von der Bina entsprechen. Es können aber auch andere Töne benutzt worden sein, da das chemische Gesamtspektrum der historischen Kröninger Tonlagerstätten und speziell das der oberflächennahen Töne, die schon abgebaut sind, nicht bekannt ist. Der Sprung in der chemischen Zusammensetzung von den blauen zu den violetten Tonvarietäten entspricht in etwa dem Unterschied zwischen der Referenzgruppe

Kröning I und II, so daß eine Rohstoffauswahl zur Herstellung der Kermik beider Referenzgruppen allein schon aufgrund der Farbe der Tone zu erreichen ist.

Die Ware Kröning II ist fast ausschließlich reduzierend gebrannt, während die Ware Kröning I sowohl reduzierend als auch oxidierend gebrannt ist.

Weiter gilt :

- Manche Kröninger Hafner haben sich auf Schwarzgeschirr spezialisiert.
- Der blaue Ton ist Fe_2O_3 - reicher als der violette Ton und ist im Abbau von diesem leicht zu unterscheiden.
- Das oxidierend gebrannte Kröninger Geschirr besitzt meist die für das Kröning typische gelb - beige Farbe (Es gibt bis auf wenige Ausnahmen keine rötlichen Scherben im Kröning), was nur durch die Verwendung eines eisenarmen Tones zu erreichen ist.

Somit ist es einem Hafner z.B. aus Kleinbettenrain möglich, mit demselben fetten violetten Ton Schwarzgeschirr wie auch oxidierend gelb brennende Ware herzustellen. Deshalb mußte ein Hafner, wollte er oxidierend brennen, in jedem Fall auf einen fetten Ton zurückgreifen, während ein "Schwarzhafner" geringere Probleme bei der Rohstoffauswahl hatte, da für seine Zwecke fast alle kalkarmen Varietäten brauchbar waren. Die Tatsache, daß ein kalkreicher, eisenreicher Ton auch eine gelbliche Brennfarbe ergeben kann, ist bei diesen Betrachtungen außer acht zu lassen, da die gesamte Kröninger Irdenware wie auch die in Frage kommenden Tone ausgesprochen kalkarm sind ($< 1\% \text{ CaO}$). Wollte ein Hafner mit den eisenreicheren Tönen einen gelb brennenden Scherben erzeugen, so hätte er Kalk zugeben müssen, was einen zusätzlichen Arbeitsgang und Probleme bei der Homogenisierung mit sich gebracht hätte.

Magerung der Rohstoffe

Es gibt unter den untersuchten Proben Kröninger Irdenware Beispiele dafür, daß einerseits der Ton ungemagert, andererseits nur gemagert benutzt wurde. Beide Möglichkeiten sind in verschiedenen archivalischen Quellen (z.B. **Schmitz** 1934) belegt (siehe Kapitel 3.2.). **Hagn** (1983) kommt durch mikroskopische Untersuchungen an Kröninger Irdenware wie auch an "Kröninger" Tönen zu dem Schluß, "daß der Ton, aus dem die Gefäßkörper angefertigt wurden, nicht zusätzlich gemagert wurden. Eine Beimengung von Sand konnte bisher nur in den Henkeln nachgewiesen werden". Bei der Keramik bezieht er sich dabei auf die Irdenware aus Jesendorf (Schickerbauer) und Kleinbettenrain (Wurzer), bei den Tönen auf Proben aus der Tongrube Großbettenrain (violette, graue und grüne Varietäten). In der vorliegenden Arbeit wurden Proben der gleichen Fundorte untersucht. Die chemischen, diffraktometrischen wie auch mikroskopischen Ergebnisse führen jedoch zu einem anderen Schluß. Wie gezeigt werden konnte, wurden die grauen und grünen Tonvarietäten zur Herstellung der Keramik nicht verwendet. Es bleibt somit nur noch der violette Ton zu einem Vergleich übrig. Dieser ausgesprochen feine Ton ist in seiner chemischen Zusammensetzung mit keiner untersuchten Keramik bis auf die wenigen Vertreter der Extremgruppe auch nur näherungsweise vergleichbar. Da aber in vielen archivalischen Quellen immer ein violetter Ton als Rohstoff für die Kröninger Irdenware genannt wird, bleibt nur

der Schluß, daß er in der Regel in gemagerter Form verarbeitet wurde. Auch die Feststellung von **Hagn** (1983), "daß die Henkel aus sandreicherem Ton bestehen als die Gefäßwände", diese aus noch zusätzlich gemagertem Ton, dem sogenannten "Herrendower" hergestellt wurden, kann durch die Ergebnisse dieser Arbeit nicht bestätigt werden. Beide Möglichkeiten müssen in Betracht gezogen werden. Die Keramik von Jesendorf (Wippenbeck) ist ein Beispiel dafür, daß die Henkel aus dem gleichen Material wie die Gefäßwand hergestellt wurden. Deutlich zeigen dies die nahezu identischen chemischen Elementanalysen der beiden Formteile der Gefäße. Die Keramik aus Hub belegt dagegen eine zusätzliche Magerung des Tones, der zur Formung der Henkel genommen wurde; alle untersuchten Henkel zeigen z.B. höhere SiO_2 - Werte als die dazugehörigen Gefäßwände.

Neben einer Magerung des Tones besteht für das reduzierend gebrannte Geschirr, speziell für die Ware aus den ältesten Werkstätten, noch eine weitere Möglichkeit, einen relativ grob gemagerten Scherben zu erhalten. Neben den blauen und violetten Tonvarietäten, die nur gemagert einen "Kröninger Scherben" ergeben, sind im Prinzip auch die heute als mergelig analysierten blauen Tone nutzbar. Ursprünglich stand zumindest ein Teil dieser Tone oberflächennah an und war somit den Verwitterungseinflüssen ausgesetzt. Regen könnte die Karbonate ausgelaugt haben, und im Endeffekt könnten sich die ursprünglich mergeligen blauen Tone in relativ kalkarme Tone umwandeln (einen Hinweis auf diese Möglichkeit geben Kalkkonkretionen an der Grenze blauer - violetter Ton), die dann von den Hauern leicht abgebaut werden konnten. Da dies oberflächennah geschah, ist auch die Vermischung mit größeren Sedimenten leicht zu erklären. Die so entstandenen mageren Tone könnten direkt ohne künstliche Magerung verarbeitet worden sein.

10.3. Zu technischen Aspekten der Kröninger Irdenware

1. **Brenntemperatur:** Die Kröninger Keramik ist eine Irdenware, die in der Regel bei Temperaturen zwischen 800 und 950°C gebrannt wurde. Nur in Fehlbränden sind höhere Temperaturen phasenanalytisch belegt.
2. **Gefäßform - Tonaufbereitung:** Die Vermutung, daß zur Herstellung verschiedener Gefäßformen andere Tone oder verschieden aufbereitete Tone benutzt wurden, kann mit den vorliegenden Untersuchungen nicht bestätigt werden. Die Tatsache, daß bestimmte Formen bevorzugt oxidierend oder reduzierend gebrannt wurden und von daher zum Teil schon eine Rohstoffauswahl getroffen worden sein kann, ist dabei außer acht gelassen. Eine unterschiedliche Rohstoffauswahl und/oder Aufbereitung scheint eher aufgrund der Fragestellung - wird oxidierend oder reduzierend gebrannt, wird glasiert oder nicht glasiert - getroffen worden zu sein.
3. **Kröninger Blau:** Die Trübung der blauen Glasur der Kröninger Irdenware wurde weder durch Zinndioxid noch durch Nephelin - Kristallite sondern durch eine in der Glasurschmelze beim Abkühlen auskristallisierende Phase bewirkt, die in ihrer Zusammensetzung und kristallographischen Struktur Pyromorphit sehr ähnelt.

10.4. Ausblick

Die chemischen und phasenanalytischen Untersuchungen an Kröninger Irdenware konnten auf viele Fragen eine Antwort geben. Einige Fragen tauchten jedoch neu auf:

- **Kröninger "blaue Ware"**: Wie festgestellt wurde, handelt es sich bei der kristallinen, die Glasur trübenden Phase um eine Pyromorphit – ähnliche Verbindung, deren Zusammensetzung noch nicht genau bekannt ist. Neben der chemischen Zusammensetzung gilt es zu klären, unter welchen Bedingungen sie aus der Glasurmasse kristallisiert. Mit einer Elektronenstrahlmikrosonde könnten hierzu gut ausgebildete Kristallite wie auch die Glasurmatrix analysiert werden. Experimentelle Glasurversuche sollten am Ende schließlich eine Reproduktion der blauen Glasur ermöglichen.
- **Brennversuche**: Hier steht noch eine Untersuchung der sich im reduzierenden Brand aus illitisch – chloritischen Tönen bildenden Cordierit – ähnlichen Phase wie auch eine Deutung der Abhängigkeit der Stabilität des Kaolinites von der Brenn-atmosphäre aus. Weitere Brennversuche zur experimentellen Erfassung der genauen Stabilitätsgrenzen in Abhängigkeit von thermodynamischen Parametern wie f_{O_2} , Temperatur, der mineralogischen Zusammensetzung des Tones und der Dauer der Temperung könnten für beide Phasen zum Ziele führen. Von Bedeutung wäre auch die Bestimmung der Kristallstruktur und der Chemie (Mikrosonde) der Cordierit – ähnlichen Phase. Untersuchungen mit dem Erzmikroskop könnten zur Bestimmung der Sauerstoffugazitäten, die in den Proben selbst herrschten, beitragen.
- **Tone**: In vielen archäometrischen Arbeiten wird auf die Spurenelementchemie mit dem Ziel zurückgegriffen, Beziehungen zwischen der Keramik und den Ausgangstonen herzustellen. Hierzu wäre es sinnvoll zu wissen, wie stark sich Umweltfaktoren auf den Spurenelementchemismus der Tone auswirken. Die historischen Hafner haben vor allem oberflächennahe Tone benutzt; zum Teil lag der Ton auch vor der Bearbeitung monatelang im Freien. Auch das Wirken des sauren Regens und anderer antropogener Faktoren (z.B. Kunstdünger) auf die Mobilität der Spurenelemente und die Spurenelementzusammensetzung der Tone, die analysiert und mit der Irdenware verglichen werden sollen, ist von Bedeutung.
- **Kröninger Irdenware**: Um die Kröninger Irdenware im Rahmen der Hafnerzentren Bayerns einordnen und von anderen Hafnerzentren abgrenzen zu können, wäre es nötig, alle bekannten, gesicherten Warengruppen mit chemischen und mineralogischen Methoden zu untersuchen und weitere chemische Bezugsgruppen (Referenzgruppen) zu bilden.

11. Literaturverzeichnis

- Ahrens L.H. (1954(a)):** The Lognormal Distribution of the Elements. - In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **5**, S. 49 - 73.
- Ahrens L.H. (1954(b)):** The Lognormal Distribution of the Elements. - In: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **6**, S. 121 - 131.
- Bauer I. (1975):** Hafnerware aus Altbayern. - In: *Der Storchenturm*, **10**, Heft 20, S. 1 - 18.
- Bauer I. (1980):** Hafnergeschirr aus Altbayern, Kataloge des Bayerischen Nationalmuseums **15**, 1. Auflage, München, 442 S.
- Bauer I. (1982):** Handbuch und Führer zum Keramikmuseum Schloß Obernzell. Bayerisches Nationalmuseum, 152 S.
- Bauer I., Endres W., Kerkhoff-Hader B., Koch R., Stephan H.-G. (1987):** Leitfaden zur Keramikbeschreibung (Mittelalter - Neuzeit), Terminologie - Typologie - Technologie. Kataloge der Prähistorischen Staatssammlung, Beiheft 2, 197 S.
- Beutel P., Schubö W. (1980):** SPSS9 - Statistik Programm System für die Sozialwissenschaften, Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, 323 S.
- Brindley G.W., Brown G. (1980):** Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification. Mineralogical Society Monograph No.5, London, 495 S.
- Coolley W. W., Lohnes P.R. (1971):** Multivariate Data Analysis, London, John Wiley & Sons, 364 S.
- Czys W., Maggetti M., Galetti G., Schwander H. (1984):** Die spätrömische Töpferei von Rohrbach im Landkreis Aichach - Friedberg. - In: *Bayerische Vorgeschichtsblätter*, **49**, S. 215 - 258.
- Darken L.S., Gurry R.W. (1945):** The System iron - oxygen. I. The Wüstite field and related equilibria. - In: *J. Amer. Chem. Soc.* **67**, S. 1398 - 1412.
- Endres W. (1982):** Zur Entstehung und chemischen Struktur "schwarz" färbender Pigmente bei unglasierter Irdenware. - In: *Volkstümliche Keramik aus Europa* **2**, S. 47 - 70.
- Endres W. (1984):** Wichtige Keramikneufunde aus Bayern. - In: *Volkskunst* **17**, **3**, S. 19 - 27.

- Fatti L.P., Hawkings D.M., Raath E.L.C. (1982):** Discriminant Analysis. - In: D.M. Hawkins, Ed., Topics in Applied Multivariate Data, Cambridge, Cambridge University Press, S. 1 - 71.
- Fitz, S. (1982):** Kröninger Blaugeschirr aus der Sammlung des Bayerischen Nationalmuseums. Naturwissenschaftliche Untersuchung der Glasur. - In: Volkstümliche Keramik aus Europa 2, Beiträge zur Keramikforschung, Institut für Volkskunde, München, S. 71 - 80.
- French B.M., Eugster H.P. (1965):** Experimental Control of Oxygen Fugacities by Graphite - Gas Equilibrium. - In: J. Geophys. Res. **70**, S. 1529 - 1539.
- Gebhardt P. (1964):** Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen auf Blatt Aham 7440 (Niederbayern). Geol. Diplomarbeit, Univ. München, 93 S.
- Grasmann, L. (1976):** Beiträge zur Niederbayerischen Hafnerei I: Zur Hafnerei an der Bina und auf dem Petermandel-Anwesen in Stadthof. - In: Volkstümliche Keramik aus Europa 1, München, S. 50 - 70.
- Grasmann L. (1977):** Beiträge zur Kröninger Hafnerei. - In: Der Storchenturm, Sonderheft 1, 40 S.
- Grasmann, L. (1978):** Kröninger Hafnerei, Regensburg, Verlag F. Pustet, 152 S.
- Grasmann, L. (1980):** Schwarzgeschirr aus dem Kröning. - In: Berichte und Referate des 13. Internationalen Hafnerei-Symposiums Sibiu - Paltinis (Rumänien), S. 241 - 244.
- Grasmann, L. (1981):** Eine Werkstattbruchgrube des 17. Jht. in Kleinbettenrain (Kröning). - In: Der Storchenturm, **16**, Heft 31, S. 102 - 120.
- Grasmann, L. (1983):** Hundspoint/ Vilsbiburg/ Niederbayern: - In: Volkskunst, **6**, Heft 2, S. 68 - 69.
- Grasmann, L. (1984):** Keramische Raritäten aus dem Kröning: Nadlkörbl, Vexierkrüge, Tintenzeuge, Weihwasserkessel..., - In: Der Storchenturm, Sonderheft 6, S. 1 - 48.
- Hagn, H. (1983):** Archäometrische Untersuchungen an Kröninger Keramik im Vergleich mit anderen bayerischen Produktionsstätten. - In: Der Storchenturm, **18**, Heft 35, S. 33 - 78.
- Hagn, H., Veit P. (1985(a)):** Spätmittelalterliche Keramikfunde in Baierbrunn. - In: A. Hutterer, Am Brunnen der Baiern, Baierbrunn (Selbstverlag), S. 63 - 123.

- Hagn H. (1985(b)):** Mikroskopische Untersuchungen von Keramikproben. - In: Der Storchenturm, 20, Heft 39, S. 75 - 84.
- Hartung J., Elpelt B. (1986):** Multivariate Statistik, München, Oldenbourg Verlag, 815 S.
- Heimann R.B. (1978/79):** Mineralogische Vorgänge beim Brennen von Keramik und Archäothermometrie. - In: Acta Praehistorica et Archaeologica 9/10, S.79 - 102.
- Heimann R.B., Maggetti M., Einfalt H.C. (1980):** Zum Verhalten des Eisens beim Brennen eines kalkhaltigen illitischen Tons unter reduzierenden Bedingungen. - In: Ber. Dt. Keram. Ges. 57, Nr.6 - 8, S. 145 - 152.
- Hofmann B. (1973):** Erläuterungen zum Blatt Nr. 7539 Lanshut Ost der Geologischen Karte von Bayern 1:25000. Bayerisches Geologisches Landesamt, München, 135S.
- Hoffzimmer M. (1988):** Petrographische und geochemische Untersuchungen an Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse im Kröning/ Niederbayern mit besonderer Berücksichtigung von Fluor und Bor. Unveröffentlichte Mineral. Diplomarbeit, Universität München, 115 S.
- Jornet A. (1982):** Analyse minéralogique et chimique de la céramique romaine suisse à enduit brillant. Thèse Univ. Fribourg, Suisse, 266 S.
- Jornet A, Maggetti M. (1985):** Chemische Analyse von 40 Scherben der Grabungen beim Augster Osttor im Jahre 1966. - In: Jahresberichte aus Augst und Kaiseraugst, 5, S. 107 - 122.
- Klenk B. G. (1987):** Geologisch - mineralogische Untersuchungen zur Technologie frühbronzezeitlicher Keramik von Lidar Höyük (Südost - Anatolien). Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reihe B, München, Verlag F. Pfeil, 64 S.
- Leach F., Manly B. (1982):** Minimum Mahalanobis Distance Functions and Lithic Source Characterization by Multi - Element Analysis. - In: New Zealand Journal of Archaeology 4, S. 77 - 109.
- Letsch J., Noll W. (1983):** Phasenbildung in einigen keramischen Teilsystemen bei 600°C - 1000°C in Abhängigkeit von der Sauerstoffugazität. In: cfi/Ber. DKG, 7, S. 259 - 267.
- Letsch J. W. H. (1982):** Neolithische und chalkolithische Keramik Thessaliens, Rohstoffe und Herstellungstechnik. Dissertation, Univ. Köln, 179 S.

- Maggetti M. (1979):** Mineralogisch – petrographische Untersuchung des Scherbenmaterials der urnenfelderzeitlichen Siedlung Elchinger Kreuz, Ldkr. Neu – Ulm/ Donau. – In: Kataloge der Prähistorischen Staatssammlung München, **19**, S. 14 1 – 168.
- Maggetti M. (1981):** Composition of Roman Pottery from Lousonna (Switzerland). – In: British Museum Occasional Paper, **19**, S. 33 – 49.
- Maggetti M., Kahr G. (1981a):** Homogenität archäologischer keramischer Objekte. Teil I: Porosität und Porenradienverteilung. – In: Archäologie und Naturwissenschaften **2**, S. 1 – 20.
- Maggetti M., Schubiger A., Wyttenbach A. (1981b):** Homogenität archäologischer keramischer Objekte. Teil II: Ergebnisse der Neutronenaktivierungsanalyse. – In: Archäologie und Naturwissenschaften **2**, S. 21 – 32.
- Maggetti M., Rossmann M. (1981c):** Archaeothermometry of Kaolinitic Clays. – In: Revue d'Archéometrie, **3**, S. 185 – 194.
- Maggetti M. (1982):** Phase Analysis and its Significance for Technology and Origin. – In: Olin J.S., Franklin A.D. (eds.) Archaeological Ceramics, Smithsonian Inst. Press, S. 121 – 131.
- Maggetti M. (1986(a)):** Majolika aus Mexiko – ein archäometrisches Fallbeispiel. – In: Fortschr. Miner., **64**, 1, S. 87 – 103.
- Maggetti M., Galetti G. (1986(b)):** Chemischer Herkunftsnachweis der "Schwarzen Sigillata" vom Magdalensberg. – In: Magdalensberg – Grabungsbericht **15**, S. 391 – 431.
- Maniatis Y., Simopoulos A., Kostikas A. (1983):** Effect of Reducing Atmosphere on Minerals and Iron Oxides Developed in Fired Clays: The Role of Ca. – In: J. Amer. Ceram. Soc., **66**, 11, S. 773 – 781.
- Malokovich, J.F., Afifi A.A (1973):** On Test for Multivariate normality. – In: J. Amer. Statist. Assoc., **68**, S. 176 – 181
- Mardia K.V., Kent J.T., Bibby J.M. (1979):** Multivariate Analysis, Academic Press, London, 521 S.
- Markmiller F. (1981):** Zur Textüberlieferung und Datierung der Kröninger Hafnerordnung von 1428. – In: Der Storchenturm **16**, 31, S 1 – 8.
- Marro C., Maggetti M., Stauffer L., Primas M. (1979):** Mineralogisch – petrographische Untersuchungen an Laugener Keramik. Ein Beitrag zum Keramikimport im alpinen Raum. – In: Archäologisches Korrespondenzblatt **9**, 4, S. 393 – 400.

- Matthes W.E. (1985):** Keramische Glasuren: Grundlagen, Eigenschaften, Rezepte, Anwendung, Köln, Müller Verlag, 499 S.
- Morrison D.F. (1976):** Multivariate statistical Methods, New York, McGraw - Hill, 415 S.
- Nie N.H., Bent D.H., Jenkins J.G., Steinbrenner K. (1980):** SPSS: Statistical Package for the Social Sciences, New York, McGraw - Hill, 675 S.
- Nungässer W., Maggetti M., Stöckli W.E. (1985):** Neolithische Keramik von Twann - Mineralogische und Petrographische Untersuchungen. - In: Jahrbuch der Schweiz. Ges. f. Ur- und Frühgeschichte, **68**, S. 7 - 39.
- Obernberg von J. (1816) :** Reisen durch das Königreich Baiern, I. Teil, 2. Bd., II. Heft, S. 306 - 310.
- Okrusch M., Wilke - Schiegries R. (1985):** Mineralogische Untersuchungen an gelb toniger Irdeware des 12. bis 13. Jahrhunderts in Braunschweig und Goslar. - In: Stadtarchäologie in Braunschweig, Forschungen der Denkmalpflege in Niedersachsen, **3**, S. 247 - 255.
- Okrusch M., Wilke - Schiegries R., Rötting H. (1986):** Archäometrie früh- und hochmittelalterlicher Keramik des Gräberfeldes Schortens, Ldkr. Friesland. - In: Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte, **55**, S.145 - 189.
- Peters T.J., Jenni J - P. (1973):** Mineralogische Untersuchungen über das Brennverhalten von Ziegeltonen. - In: Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lieferung **50**, 59 S.
- Pletzer G. (1974):** Die soziokulturelle Entwicklung des Kröning und seine Keramik. - In: Keramik - Freunde der Schweiz. Mitteilungsblatt Nr. **86**, S. 3 - 36.
- Pollard A.M. (1982):** A Critical Study of Multivariate Methods as Applied to Provenance Data. - In: Proceedings of the 22nd Symposium on Archeometry, University of Bradford, Bradford, UK, March 30th - April 3rd 1982, S. 56 - 66.
- Pollard A.M., Hatcher H. (1986):** The Chemical Analysis of Oriental Ceramic Body Compositions: Part2 - Greenwares. - In: Journal of Archaeological Science, **13**, S.261 - 287.
- Rodionov D.A. (1964) :** Distribution Functions of the Element and Mineral Content of Igneous Rocks. Consultant Bureau, New York 1965 (Übersetzung aus Russ. Izd. Nauka, Moskau 1964)

- Rögl F., Steininger F. F. (1983):** Vom Zerfall der Thethys zu Mediterran und Parathetys. - In: Ann. naturhist. Mus. Wien, **85/A**, S. 135 - 163.
- Rösler HJ. (1984):** Lehrbuch der Mineralogie, Leipzig, VEB, 833 S.
- Rudhart I. (1827):** Ueber den Zustand des Königreichs Bayern nach amtlichen Quellen, II Band. Erlangen, S. 117 - 118.
- Salmang H., Scholz H. (1982/83):** Keramik Teil I, II, 5. Aufl., Berlin - Heidelberg - New York, Springer Verlag, 308/ 276 S.
- Scharrer J. (1980):** Geologische und Sedimentpetrographische Untersuchungen nördlich von Pfarrkirchen/Niederbayern (Im Mittelteil des Gradabteilungsblattes 7543 Pfarrkirchen) sowie - Die Pelite der Molanubischen Serie Niederbayerns: Ihre Verbreitung, Zusammensetzung und einstige keramische Bedeutung. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität München.
- Schmeer D. (1955):** Sedimentpetrographische Beobachtungen aus der Oberen Süßwassermolasse im Bereich von Freising bis Landshut. - In: Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 1955, S. 123 - 157.
- Schneider G. (1978):** Anwendung quantitativer Materialanalysen auf Herkunftsbestimmungen antiker Keramik. - In: Berliner Beiträge zur Archäometrie **3**, S. 63 - 122.
- Schmitz Chr. (1833):** Ueber das Vorkommen des plastischen Thones im Königreiche Bayern. - In: Kunst- und Gewerbe-Blatt des polytechnischen Vereins für das Königreich Bayern **19**, Spalte 9 - 10 und 28 - 30.
- Schmitz Chr. (1834):** Ueber den Zustand der Töpferei - Gewerbe und der damit Verwandten Technik im Königreiche Bayern. - In: Kunst- und Gewerbe-Blatt des polytechnischen Vereins für das Königreich Bayern **20**, Heft III, Spalte 1 - 56.
- Schreyer W., Schairer J.F. (1961):** Metastable Solid Solutions with Quartz - Type Structures on the Join SiO_2 - MgAl_2O_4 . - In: Zeitschrift für Kristallographie, **116**, S. 60 - 82.
- Schroll E. (1975):** Analytische Geochemie, Band I Methodik, Stuttgart, Enke, 292 S.
- Schubert P. (1986):** Petrographic Modal Analysis - a Necessary Complement to Chemical Analysis of Ceramic Coarse Ware. - In: Archaeometry, **28**, 2, S. 163 - 178.

- Schuchard - Fischer C., Backhaus K., Humme U., Lohrberg W., Plinke W., Schreiner W. (1985): Multivariate Analysenmethoden, Berlin, Springer, 346 S.
- Sokal R.R., Michener C.D. (1958) : Kans. Univ. Sci. Bull. **38**, S.1409f.
- Spirkner B. (1909): Die Kröninger Hafnerei. - In: Bayernland **10**, 20, S. 394 - 395, 427 - 428, 442 - 443.
- Spirkner B. (1914): Die Kröninger Hafnerei. - In: Niederbayerische Monatsschrift **3**, S. 114 - 136
- Spirkner B. (1931): Beitrag zur Geschichte der Kröninger Hafnerei. - In: Niederbayerische Heimatblätter. Heimatkundliche Beilage zum Vilsbiburger Anzeiger, **3**, Nr. 16, S. 339f.
- Stout A.M., Hurst A. (1985): X - Ray Diffraction of Early Iron Age Pottery from Western Norway. - In: Archaeometry, **27**, 2, S. 225 - 230.
- Stieber P. (1968): Hafnergeschirr aus Altbayern. Zur Ausstellung im Bayerischen Nationalmuseum vom 27.Juni 1968 bis 31.Oktober 1968. München.
- Stieber P. (1972): Die Kröninger Hafnerordnung von 1428, Vollständiger Text, Glossar, und Kommentar, Schriften des Deutschen Hafner - Archivs Heft **8**, München.
- Topping P.G., Mackenzie A.B. (1988): A Test of the Use of Neutron Activation Analysis for Clay Source Characterization. - In: Archeometry **30**, 1, S. 92 - 101.
- Unger H.J. (1983): Versuch einer Neugliederung der Oberen Süßwassermolasse. - In: Geol. Jb., **A67**, S. 5 - 35.
- Unger H.J. (1987): Lagerung und Ausbildung der obermiozänen Tone im Raum Vilsbiburg/ Niederbayern. - In: Geologisches Jahrbuch, **A 105**, S. 25 - 56.
- Vistelius A.B. (1967): Studies in Mathematical Geology. (Übersetzung aus Russ.) Consultants Bureau, New York.
- Vitali V., Franklin U. M. (1986): An Approach to the Use of Packaged Statistical Programs for Cluster, Classification, and Discriminant Analysis of Trace Element Data. - In: Geoarcheology, **1**, No. 2, S. 195 - 201.
- Ward J.H. (1963) : Hierarchical Grouping to optimize an Objective Funktion. - In: J. Amer. Statist. Assoc. **58**, S. 236 - 244.

Wishard D. (1982): CLUSTAN User Manual. Edinburgh: Programm Library Unit, Edinburgh University Press.

Wolff S.R. et al. (1986): Classical and Hellenistic Black Glaze Ware in the Mediterranean: A Study by Epithermal Neuron Activation Analysis. - In: Journal of Archeological Science, **13**, S. 245 - 259.

Abkürzungsverzeichnis

RFA	: Röntgenfluoreszenzanalytik
OSM	: Obere Süßwassermolasse
NVS	: Nördlicher Vollsotter
NN	: Normal Null
KW	: Kleinbettenrain (Winterstetter)
KO	: Kleinbettenrain (Winterstetter), oxidierend gebrannt
KS	: Kleinbettenrain (Winterstetter), reduzierend gebrannt
KH	: Kleinbettenrain (Winterstetter), Henkel
KA	: Kleinbettenrain (Wurzer), Fundstelle 1
KB	: Kleinbettenrain (Wurzer), Fundstelle 2
KC	: Kleinbettenrain (Wurzer), Fundstelle 3
KD	: Kleinbettenrain (Wurzer), Fundstelle 4
KE	: Kleinbettenrain (Wurzer), Fundstelle 5
KL	: Kleinbettenrain
H	: Hundspoint
HA	: Hundspoint Schicht 1
HB	: Hundspoint Schicht 2
HC	: Hundspoint Schicht 3
HF	: Hundspoint
JE	: Jesendorf (Eder)
JS	: Jesendorf (Schickerbauer)
JW	: Jesendorf (Wippenbeck)
BG	: Bina (Garage)
BA	: Bina (Stall)
BF	: Dörfel (Feld)
D	: Dörfel (Haus)
HUB	: Hub (Hof)
HUO	: Hub (Hühnergarten), oxidierend gebrannte Ware
HUS	: Hub (Hühnergarten), reduzierend gebrannte Ware
Öd	: Öd
G	: Gschaid
RP	: Regensburg Prebrunn
VB	: Vilsbiburg, Obere Stadt 18
VC	: Vilsbiburg, Obere Stadt 33
OZ	: Otzelberg
X	: Mittelwert
S	: Standardabweichung

i.e.S. : im eigentlichen Sinne

USGS	: United States Geological Survey, Reston (USA)
GIT – IWG	: Group International de Travail – International Working Group (Frankreich)
ZGI	: Zentrales Geologisches Institut, Berlin (DDR))
ANRT	: Association National de la Recherche Technique (Frankreich)
CCRMP	: Canadian Certified Reference Materials Project (Kanada)
CRPG	: Centre de Recherches Petrographiques et Geochimiques (Nancy, Frankreich)

Anhang I: Probenbeschreibung.

Bei der Beschreibung wird folgende Reihenfolge eingehalten: Art des Probenstückes, Farbe des Scherbens im Bruch, Oberflächenfarbe, Brandführung, (Besonderheiten in Klammern).

ox. - oxidierend gebrannt, red. - reduzierend gebrannt

Kleinbettenrain Nr.3 : Winterstetter 16./17. Jahrhundert

- K2O : innen grün glasiertes Bruchstück, beige, schwarzgelb, ox.
 K3O : unglasiertes Bruchstück, beige, grau, schwarz, ox.
 K4O : innen braun glasiertes Bruchstück, beige mit schwarzer Zone nach außen, dunkelgelb, ox.
 K5O : unglasiertes Bruchstück, beige, beige, ox.
 K1W : unglasiertes Bruchstück (Wassergrat), grau, schwarz, red.
 K1S : unglasiertes Bruchstück (Kragenrand), grau, schwarz, geglättet, red.
 K2S : unglasiertes Bruchstück, grau, schwarz, (grobporös), red.
 K3S : unglasiertes Randstück (Krembrand), grau, schwarz, red.
 K4S : unglasiertes Bodenstück, schwarzgrau, schwarz, red.
 K5S : unglasiertes Randstück (Kragenrand), grau, schwarz, red.
 K1H : unglasierter Henkel, schwarzgrau, schwarz, red.
 K2H : unglasierter Henkel, schwarzgrau, schwarz, red.
 K3H : unglasierter Henkel, grau mit hellem Kern, schwarz, red.
 K4H : unglasierter Henkel, grau, schwarz, red.
 K5H : unglasierter Henkel, grau, schwarz, red.

Kleinbettenrain Nr.2 / Wurzer : Fundstelle 1, 16. Jahrhundert

- K1A : innen dunkelbraunblau glasiertes Bruchstück, beige, dunkelgelb, ox.
 K2A : innen grün glasiertes Randstück, beige, beige, ox.
 K3A : unglasiertes Bodenstück, hellbraun, graubraun, ox.
 K4A : unglasiertes Randstück, beige, beige, ox.
 K5A : unglasiertes Bruchstück, hellbeige, beige, ox.
 K6A : innen grün glasiertes Randstück (Kragenrand), beige, außen gelb, ox.
 K7A : innen fleckig grün glasiertes Stück, beige, beige, ox.
 K8A : innen schwarzbraun glasiertes Randstück (Kragenrand), beige, außen dunkelgelb, ox.
 K9A : innen und randlich braun glasiertes Stück, beige, außen dunkelgelb, ox.

Kleinbettenrain Nr.2 / Wurzer : Fundstelle 2, 16. Jahrhundert

- K1B : unglasiertes Randstück, schwarzgrau, schwarz, red.
 K2B : unglasiertes Randstück, von innen nach außen beige bis schwarz, innen beige, außen schwarz, ?
 K3B : unglasiertes Bruchstück, beige, innen schwarz - außen braunschwarz, ?
 K4B : unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz, red.
 K5B : unglasiertes Randstück, beige, innen beige, schwarz - außen beige, ox.
 K6B : unglasiertes Bruchstück, grau, schwarz, red.
 K7B : unglasiertes Bruchstück, beige, innen schwarz - außen beige, ox.
 K8B : unglasiertes Randstück, grau, grau, schwarz, ?
 K9B : unglasiertes Randstück, beige, schwarz, red.
 K10B : unglasiertes Bruchstück, grau mit dunklerem Rand, schwarz, (sehr feinkörnig gemagert), red.

Kleinbettenrain Nr.2 / Wurzer : Fundstelle 3, 16. Jahrhundert

- K1C** : unglasiertes Bruchstück, dunkelgraubraun, schwarz, red.
- K2C** : unglasiertes Bruchstück, grau, innen schwarz - außen braunschwarz, red.
- K3C** : unglasiertes Bruchstück, grau, schwarz, red.
- K4C** : unglasiertes Randstück, grauschwarz, schwarz, red.
- K5C** : unglasierter Henkel, grau, schwarz, red.
- K6C** : unglasiertes Bruchstück, beige, grau, schwarzgrau, red.
- K7C** : unglasiertes Wand - Bodenstück, grauschwarz, schwarz, red.
- K8C** : unglasiertes Randstück, grau, schwarz, red.
- K9C** : unglasiertes Bruchstück, beige, grau innen bis grau, schwarz glänzend, red.
- K10C** : unglasiertes Bruchstück, grau, schwarz mit Glättungsstreifen, red.
- K11C** : unglasiertes Bruchstück, graubeige, braungelb, ox.

Kleinbettenrain Nr.2 / Wurzer : Fundstelle 4, 16. Jahrhundert

- K2D** : unglasierter Henkel, grau, schwarz, red.
- K3D** : unglasiertes Randstück, schwarzgrau, schwarz, red.
- K4D** : unglasiertes Randstück, schwarzgrau, braun bis schwarz, red.
- K5D** : unglasiertes Randstück, grau, schwarz, red.
- K6D** : unglasiertes Bodenstück, grau, innen schwarz - außen grau, red.
- K7D** : unglasiertes Randstück, hellgrau, schwarz, red.
- K8D** : unglasiertes Bruchstück, grau, schwarz, red.
- K9D** : unglasiertes Bruchstück, grau, innen schwarz - außen grau, red.
- K10D** : unglasiertes Bruchstück, grau, schwarz, red.

Kleinbettenrain Nr.2 / Wurzer : Fundstelle 5, 16. Jahrhundert

- K1E** : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarz, red.
- K3E** : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarz, red.
- K4E** : unglasiertes Randstück, grau, innen grau - außen schwarzgrau, red.
- K5E** : unglasierter Henkel, hellgrau, schwarz, red.
- K6E** : unglasiertes Randstück, beige, innen braunschwarz - außen beige, ox.
- K7E** : unglasiertes Bodenstück, hellgrau, grau, red.
- K8E** : unglasiertes Bodenstück, graubeige, schwarz, ?
- K9E** : unglasiertes Randstück, schwarzgraubraun, schwarz, red.
- K10E** : unglasiertes Bodenstück, hellgrau, innen schwarz glänzend - außen schwarzgrau, red.
- K11E** : unglasiertes Randstück (Kremprand, Wandung hat außen zwei Rillen)
schwarzgrau, schwarz, red.
- K12E** : unglasiertes Randstück (Kragenrand), graubeige, schwarz, red.

Hundspoint : Schicht 1, 15. Jahrhundert

- H1A** : unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz, red.
- H2A** : unglasiertes Bodenstück, braunschwarz, schwarz, red.
- H3A** : unglasiertes Randstück, braunschwarz, innen schwarz - außen braunschwarz, red.
- H4A** : unglasiertes Randstück (Kragen), beige, gelb, ox.
- H5A** : unglasiertes Randstück, schwarz, schwarz, red.
- H6A** : unglasiertes Bodenstück, rötlich beige, rötlich gelb, ox.
- H7A** : unglasierter Henkel, hellbeige, gelblich, ox.
- H8A** : unglasiertes Bodenstück, grau mit dunklem Kern, schwarz, (grob gemagert) red.
- H9A** : unglasiertes Bodenstück, grauschwarz, schwarz, red.
- H10A** : unglasiertes Wandstück, außen schwarz - innen braun, schwarz, red.

Hundspoint : Schicht 2, 15. Jahrhundert

- H1B** : unglasiertes Randstück, graubraun, schwarz, red.
H2B : unglasiertes Randstück, braun – nach außen braunschwarz, innen braun – außen schwarz, red.
H3B : unglasiertes Bruchstück, grau, grauschwarz (grob gemagert), red.
H4B : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau mit bräunlichem Kern, schwarzgrau, red.
H5B : unglasiertes Randstück (Kompositrand), braungrau, schwarz, red.
H6B : unglasiertes Randstück (Kragenrand), grau mit braunem Kern, schwarz, red.
H7B : unglasiertes Wand – Bodenstück (dünner Boden), grauschwarz, schwarz, red.
H8B : unglasiertes Stück, innen braun – außen schwarz, schwarz, red.
H9B : unglasiertes Stück, graubraun, außen stark gerillt, schwarz, red.
H10B : unglasiertes Randstück, grau mit dunklem Kern im Rand, schwarz, red.

Hundspoint : Schicht 3, 15. Jahrhundert

- H1C** : unglasiertes Randstück, schwarzgrau mit braunem Kern, schwarz, red.
H2C : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau mit braunem Kern, schwarz, red.
H3C : unglasiertes Randstück, graubraun, schwarz, red.
H4C : unglasiertes Randstück, grauschwarz mit bräunlichem Kern, schwarz, red.
H5C : unglasiertes Randstück (innen glattgestrichen), grau mit dunklem Kern, schwarz, red.
H6C : unglasiertes Stück, graubraun, schwarz, red.
H7C : unglasiertes Randstück (Dreiecksrand), grau innen braun, grau, red.
H8C : unglasiertes Randstück (Kompositrand), grauer Rand mit braunem Kern, grau, red.
H9C : unglasiertes Randstück (Kachel?) (grob gemagert), braun, braunschwarz, red.
H10C : unglasiertes Wand – Bodenstück, braun mit grauem Rand, schwarz, red.

Jesendorf / Eder : Dorfstraße 31, 18./19. Jahrhundert

- J1E** : unglasiertes Randstück, hellbeige, beige, gelb, ox.
J2E : unglasiertes Bruchstück, außen beige – innen schwarzgrau, schwarzgrau, ox.
J3E : unglasierter Henkel, beige, dunkelgelb, ox.
J4E : unglasiertes Bruchstück, beige, beige, gelb, ox.
J5E : unglasiertes Bodenstück, beige, beige, gelb, ox.
J6E : unglasiertes Bruchstück, beige, innen beige, gelb – außen dunkelgelb, ox.
J7E : unglasiertes Bruchstück, beige, dunkelgelb, ox.
J8E : innen grün glasiertes Bruchstück, beige mit dunklen Schlieren, dunkelgelb, ox.
J9E : unglasiertes Bodenstück, beige, dunkelgelb, ox.
J11E : unglasiertes Randstück, grau, braunschwarz, ox.
J12E : unglasierter Rand (Kachel), beige, gelb – schwarz, ox.
J13E : unglasiertes Randstück (Teller), beige, gelb, ox.

Jesendorf / Schickerbauer : 16. Jahrhundert ?

- J1S** : unglasiertes Randstück, grauschwarz, schwarz, red.
J2S : unglasiertes Randstück, brauner Kern mit schwarzem Rand, red.
J3S : unglasiertes Randstück, schwarzgrau, schwarz, red.
J4S : unglasierter Henkel, zonierter brauner Rand mit grauem Kern, schwarz, red.
J5S : unglasiertes Bodenstück, grau, schwarz, red.
J6S : unglasiertes Bruchstück (grobkörnig), grau, schwarz, red.
J7S : unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz, red.
J8S : unglasiertes Bruchstück, grau, schwarz, red.
J9S : unglasiertes Randstück, schwarz, grau, red.
J10S : unglasiertes Randstück, schwarz, schwarz, red.

Jesendorf, Dorfstraße 14 / Wippenbeck: 17./18. Jahrhundert ?

J1WO	: unglasiertes Bruchstück, bräunlich, bräunlich, ox.
J2WO	: unglasierter Topfrand, grauschwarz, braunschwarz, ?
J3WO	: innen grün glasiertes Bruchstück (dickwandig), beigebraun, braun, ox.
J4WO	: unglasierter Kremprand, beige, gelb, ox.
J5WO	: unglasiertes Randstück, bräunlich, braun, ox.
J6WO	: innen grün glasiertes Bodenstück, beigebraun, beigebraun, ox.
J7WO	: violett - schwarz glasierter Rand, beige, gelb, ox.
J8WO	: innen grün glasierter Kragenrand, gelbbeige, dunkelgelb, ox.
J9WO	: außen grün glasierter Kragenrand (Glasurfehler), bräunlich mit dunklerem Kern, ox.
J10WO	: innen schwarz glasierter Kragenrand, beige, gelb, ox.
J11WO	: unglasiertes Bruchstück (Wassergrat), beige, gelb, ox.
J12WO	: unglasiertes Bruchstück (Wassergrat), beige, gelb, ox.
J13WO	: unglasiertes Randstück mit Ausguß, (Kanne), beige mit bräunlichem Kern, bräunlich, ox.
J14WW	: unglasiertes Randstück (Kanne), graubraun, braun, ?
J15WH	: Henkel zu J14WW
J16WW	: umgeschlagener Rand (Topf), beige, gelb, ox.
J17WH	: Henkel zu J16WW
J18WW	: unglasierter Kragenrand, beige, gelb, ox.
J19WH	: Henkel zu J18WW
J20WW	: innen grün glasierter Kremprand, beige, bräunlichgelb, ox.
J21WH	: Henkel zu J20WW
J22WW	: braun glasiertes Wandstück, beige, gelb, ox.
J23WH	: Henkel zu J22WW, (helle Einschlüsse)

Jesendorf, Dorfstraße 14 / Wippenbeck : 17./18. Jahrhundert ?

JWS1	: unglasierter Kragenrand, grauschwarz, schwarz, red.
JWS2	: unglasiertes Wandstück (Essigkrug), grauschwarz, schwarz, red.
JWS3	: unglasiertes Bruchstück (Wassergrat), halb grau - halb dunkelbraun, schwarz. red.
JWS4	: unglasiertes Bodenstück, grau, schwarz, red.
JWS5	: unglasierter flacher Tellerrand, schwarz, schwarz, red.
JWS6	: unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz, red.
JWS7	: unglasierter Kompositrand (Kanne), schwarzgrau, schwarz, red.
JWS8	: unglasierter Kragenrand (Schale), grau, schwarz, innen glattgestrichen, red.
JWS9	: dickes Randstück (Wassergrat), grau, schwarz, red.
JWS10	: unglasiertes Bodenstück, braunschwarz, schwarz, red.
JWW11	: unglasierter Kremprand (Krug), grau, schwarz, red.
JWH12	: Henkel zu JWW11
JWW13	: unglasierter Kragenrand, schwarzgrau, schwarz, red.
JWH14	: Henkel zu JWW13
JWW15	: umgeschlagener Rand (Topf), grau, schwarz (innen heller), red.
JWH16	: Henkel zu JWW15
JWW17	: unglasierter Kremprand, grauschwarz, außen schwarz - innen grau, red.
JWH18	: Henkel zu JWW17
JWW19	: unglasiertes Randstück (Kanne, Kompositrand), grau, schwarz, red.
JWH20	: Henkel zu JWW19

Bina / Dörfel / Nr 59, / Beim Schmidtjörg : Garage, 19. Jahrhundert?

B1G	: innen hellgrün glasiertes Randstück (Kragenrand mit Spritzdekor), beige, gelb, ox.
B2G	: innen gelb glasiertes Bruchstück (Fahne mit Spritzdekor), beige, orange, ox.
B3G	: innen blauschwarz glasiertes Bruchstück, beige, hellbraun, ox.
B4G	: unglasiertes Bruchstück, hellrotbraun, rotbraun, außen dunkler, ox.
B5G	: außen dunkel glasiertes Bruchstück, beige, innen gelb, ox.
B6G	: innen gelb glasiertes Bruchstück, beige, gelblich, ox.

- B7G** : unglasiertes Bruchstück, beige, gelb, innen heller als außen, ox.
B8G : unglasiertes Wandstück, beige, innen beige, außen gelblich grau, ox.
B9G : unglasiertes Bruchstück, beige, außen hellgelb, ox.
B10G : innen bräunlich glasiertes Bruchstück, grau (grobkörnig), schwarz, ?
B11G : unglasiertes Bruchstück, beige, innen beige, außen braun bis schwarz, ox.
B12G : innen und außen gelb glasiertes Bruchstück, beige, ox.
B13G : innen grün und außen gelb glasiertes Bruchstück, beige, ox.
B14G : innen gelb glasiertes Bruchstück mit Spritzdekor, beige, gelblich beige, ox.
B15G : innen gelb glasiertes Bodenstück, beige, gelb, ox.
B16G : außen grün glasiertes Boden – Wandstück, hellbeige, gelblich, ox.
B17G : unglasiertes Randstück, graubeige, beige bis gelb, ox.
B18G : braun glasiertes Henkelstück, beige-gelb, ox.
B19G : innen braunblauschwarz glasiertes Randstück mit Henkelansatz, beige, außen gelb, ox.
B20G : unglasiertes Henkelstück, beige mit bräunlichem Kern, bräunlichgelb, ox.
B21G : unglasiertes Bodenstück, grauschwarz, schwarz, red.
B22G : unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz, red.
B23G : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarz, red.
B24G : dickes unglasiertes Bruchstück, rotbraun, schwärzlich, ?
B25G : unglasiertes Randstück (Kremprand), grauschwarz, schwarz, geglättet, red.
B26BH : Brennhilfe mit Glasurspritzern, hellrotbraun, schwarz, red.
B27G : glasiertes malhornverziertes Bruchstück, beige, beige, außen gelb und innen gelb mit roten und grünen Linien verziert, ox.

Bina/ Dörf/ Nr.59, Beim Schmidjtörg: Alter Stall, Oberfläche, 16/17.Jahrhundert ?

- B1A** : unglasiertes Henkelstück, schwarzgrau mit dunklerem Kern, schwarz, red.
B2A : unglasierter Henkel, schwarz, schwarz, red.
B3A : unglasierter Henkel, schwarzgrau, schwarz, red.
B4A : innen blau – braun – schwarz glasiertes Randstück mit Henkel, beige, beige, ox.
B4AW : Teil der Wandung von B4A
B5A : unglasiertes Randstück (Kragenrand), grauschwarz mit bräunlichem Kern, schwarz, red.
B6A : unglasiertes Randstück (Kremprand), grauschwarz, schwarz, red.
B7A : unglasiertes Bodenstück, braunschwarz, braunschwarz, ?
B8A : unglasiertes Bruchstück, schwarz, schwarz (grob gemagert), red.
B9A : unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz, außen mit Strichdekor, red.
B10A : unglasiertes Randstück, grau, schwarz, (geglätteter Kremprand), red.
B11A : unglasiertes Bodenstück, schwarzbraun, schwarzbraun, ?
B12A : unglasiertes Randstück (Kremprand), schwarzgrau, schwarz geglättet, red.
B13A : innen braun glasiertes Bruchstück, beige, gelb, ox.
B14A : dickes unglasiertes Bodenstück, schwarzgrau mit bräunlichem Kern, schwarzgrau, red.
B15A : unglasiertes Bodenstück, grauschwarz, schwarz, red.
B16A : unglasiertes Wandstück mit Strichdekor, graubraunschwarz, schwarz, red.
B17A : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarz, red.
B18A : unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz (außen mit Strichdekor), red.
B19A : unglasiertes Wandstück, grau, schwarz, innen gelätet, red.
B20A : unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz, red.

Bina/ Dörf/ Nr.59, Beim Schmidjtörg: Alter Stall, bis 20 cm Tiefe, 16./17. Jahrhundert ?

- B III/2 A1** : unglasiertes Randstück (umgeschlagener Kremprand) (teilweisegeglättet), grau, schwarz red.
B III/2 A2 : unglasiertes Randstück (Kremprand), schwarz mit bräunlichemKern, schwarz, red.
B III/2 A3 : unglasiertes, dickes Randstück (Kremprand), grau mit braunemKern, schwarz red.
B III/2 A4 : unglasierter Rand, grauschwarz, schwarz, red.
B III/2 A5 : unglasiertes Randstück, grauschwarz, schwarz, red.
B III/2 A6 : unglasiertes Henkelstück, grau, schwarz, red.
B III/2 A7 : unglasiertes Randstück, braun, braunschwarz, ?
B III/2 A8 : unglasierter Henkel, braun mit grauem Rand, schwarz, red.

- B III/2 A9 : unglasierter Henkel, grau mit schwarzem Rand, schwarz, red.
- B III/2 A10 : unglasierter Henkel, grau mit dunklem Rand, schwarz, red.
- B III/2 A11 : innen gelb glasiertes Bruchstück, beige, außen dunkelbraun, ox.
- B III/2 A12 : unglasiertes Wandstück, beige, grau, dunkelbeige, ox.
- B III/2 A13 : innen gelb glasiertes Randstück (Kompositrand), beige, dunkelgelb, ox.
- B III/2 A14 : innen gelb glasiertes Bruchstück, beige, außen gelbbraun, ox.
- B III/2 A15 : innen grün glasiertes Bruchstück, beige, außen dunkelgelb, ox.

Bina/ Dörf/ Nr.59, Beim Schmidjörg : Alter Stall, 20 – 40 cm Tiefe, 16./17. Jahrhundert?

- B III/2 B1 : einseitig gelb glasiertes Bruchstück (Kachel?), beige, dunkelgelb, ox.
- B III/2 B2 : beidseitig gelb glasiertes Randstück (innen mit braunen und grünen Tupfen), beige, ox.
- B III/2 B3 : unglasiertes Randstück (Kremprand), beige, grau, beige, ox.
- B III/2 B4 : unglasiertes Randstück (Kremprand), beige, grau, beige, ox.
- B III/2 B5 : unglasiertes dickes Wandstück, grau, schwarz, red.
- B III/2 B6 : unglasiertes Randstück (Kremprand), grauschwarz, schwarz (glattgestrichen außen mit Muster), red.
- B III/2 B7 : unglasiertes, geglättetes Randstück (Teller), grau, schwarz, red.
- B III/2 B8 : unglasiertes Randstück (Kremprand), grau, schwarz, red.
- B III/2 B9 : unglasiertes Randstück, grau, schwarz, red.
- B III/2 B10 : unglasiertes Randstück (Kragenrand), grau, glattgestrichen schwarz, (außen mit Muster), red.
- B III/2 B11 : unglasiertes Randstück (Kremprand), schwarz, schwarz, red.
- B III/2 B12 : Kleinstücke gemischt aus B III/2

Bina/ Dörf/ Nr.59, Beim Schmidjörg : Alter Stall, 20 – 40 cm Tiefe, 16./17. Jahrhundert?

- H III/2 B1 : Wandstück zu H III/2 B10
- H III/2 B2 : unglasierter Henkel, grauschwarz, schwarzbraun, red.
- H III/2 B3 : unglasiertes Henkelstück, grau mit schwarzem Kern, schwarz, red.
- H III/2 B4 : unglasierter Henkel, schwarz, schwarz, red.
- H III/2 B5 : unglasierter Henkel, schwarzgrau mit braunem Kern, schwarz, red.
- H III/2 B6 : unglasierter Henkel, grau mit dunkelbraunem Kern, schwarz, red.
- H III/2 B7 : unglasierter Henkel, braun, braun, ox.
- H III/2 B8 : unglasierter Henkel, grau mit bräunlichem Kern, schwarz, red.
- H III/2 B9 : unglasierter Henkel, grau, schwarz, red.
- H III/2 B10 : Henkel – Randstück, grau mit bräunlichem Kern, schwarz, red.

Bina/ Dörf/ Nr.59, Beim Schmidjörg : Alter Stall, 40 – 60 cm Tiefe, 16./17. Jahrhundert?

- B III/2 C1 : unglasiertes Randstück (Kremprand), grau, schwarz (außen mit Muster), red.
- B III/2 C2 : unglasiertes Randstück (Kremprand), grau, schwarz (innen glattgestrichen, außen gemustert), red.
- B III/2 C3 : unglasiertes glattgestrichenes Randstück (Kragenrand), grau mit bräunlichem Kern, schwarzglänzend, red.
- B III/2 C4 : unglasiertes Wandstück (Wassergant), grau mit braunem Kern, schwarz, red.
- B III/2 C5 : unglasiertes leicht geglättetes Randstück (Kremprand), grau, schwarz, red.
- B III/2 C6 : unglasiertes Randstück (Kremprand), grau, schwarz, leicht geglättet, red.
- B III/2 C7 : unglasiertes Randstück (Kremprand), grau, schwarz, red.
- B III/2 C8 : unglasiertes Randstück (Kragenrand), beige, grau, schwarz, red.
- B III/2 C9 : unglasiertes geglättetes Randstück (Kragenrand), grau, schwarz, red.
- B III/2 C10 : Rand – Bodenstück einer kleinen Schüssel, beige, grau, schwarz,?

Bina/ Dörf/ Nr.59, Beim Schmidtjörg : Alter Stall, 40 – 60 cm Tiefe, 16./17. Jahrhundert?

- H III/2 C1 : unglasiertes Bodenstück, beigebraun, beigebraun, ox.
- H III/2 C2 : Kleinstücke aus B III/2
- H III/2 C3 : unglasierter Henkel, schwarzgrau, schwarz, red.
- H III/2 C4 : unglasierter Henkel, grauschwarz mit schwach braunem Kern, schwarz, red.
- H III/2 C5 : unglasierter Henkel (geglättet), grau mit grauschwarzem Kern, schwarz, red.
- H III/2 C6 : unglasierter Henkel, braun mit grauschwarzem Rand, schwarz, red.
- H III/2 C7 : unglasierter Henkel, grauschwarz, schwarz, red.
- H III/2 C8 : unglasierter Henkel, grauschwarz, schwarz, red.
- H III/2 C9 : Wandstück von H III/2 C10
- H III/2 C10 : unglasiertes Henkel – Wandstück, graubraun, red.

Bina, Dörf/ Nr 59, Beim Schmidtjörg : Weg zum Wohnhaus, ?

- D1 : unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz, red.
- D2 : unglasiertes Bruchstück, schwarz, schwarz, red.
- D3 : innen schwarz glasiertes Bruchstück, rötlich braun, gelb, ox.
- D4 : unglasiertes Randstück, grauschwarz, schwarz, red.
- D5 : unglasiertes Randstück (Kremprand), rötlichbraun, gelb, ox.
- D6 : gelb glasierter Kremprand, graubeige, gelb, ox.
- D7 : innen gelb glasiertes Wand – Bodenstück, rötlichbraun, gelb, ox.
- D8 : innen braun glasiertes Bruchstück, rötlichbraun, gelb, ox.

Otzelberg :

- Oz1 : unglasiertes Bruchstück, grau, schwarz, red.
- Oz2 : unglasiertes Bruchstück, hellgrau, schwarz, red.
- Oz3 : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarz (mit Muster), red.
- Oz4 : unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz, red.
- Oz5 : unglasiertes verziertes Bruchstück, dunkelgrau, schwarz, red.
- Oz6 : unglasiertes verziertes Bruchstück, dunkelgrau, schwarz, red.
- Oz7 : unglasiertes verziertes Bruchstück, dunkelgrau, schwarz, red.
- Oz8 : unglasiertes Bruchstück, graubraun, graubraun, ?
- Oz9 : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarzgrau, red.
- Oz10 : unglasiertes Bodenstück, schwarz, schwarz, red.

Verschiedene Tonproben :

- T2 : Grube östlich der Jagdhütte (Bina) – obere Schicht (R:4536250, H:5369150)
- T3 : Grube östlich der Jagdhütte(Bina) – tiefere Schicht (R:4536250, H:5369150)
- T4 : toniger Lehm aus der Grube westlich der Jagdhütte (R:4536500, H:5369150)
- T5 : Tonlinse über Schotter (H: 4537125 R: 5368600,)
- T6 : Ton (H: 4537125 R: 5368600,)
- T7 : Tonlinse über Schotter (H: 4537125 R: 5368600,)
- T8 : Tonlinse über Schotter (H: 4537125 R: 5368600,)
- T14 : Tonprobe von Kleinbettenrain Nr.3 (R: 4527475, H: 5377900)
- T15 : Tonprobe von Kleinbettenrain Nr.3, 10 cm tiefer als T14 (R: 4527475, H: 5377900)
- T16 : Tonprobe von Kleinbettenrain Nr.3 (R: 4527475, H: 5377900)
- T18 : Tonprobe 2m von T16 entfernt (R: 4527475, H: 5377900)

Proben der Tongrube Großbettenrain : (R:4526800, H:5378050)

Vertikalprofil: vergleiche Abbildung 13

T9623	: Hellglimmer führender Sand
T9624	: hellbrauner lehmiger Ton
T9625	: hellbrauner lehmiger Ton
T9626	: hellbrauner lehmiger Ton
T9627	: grünbrauner lehmiger Ton
T9628	: grüner Ton
T9629	: grüner Ton mit Rostflecken
T9630	: rostgeflammt grüner Ton (über grauem Tonband der Grube)
T9631	: graugrüner Ton
T9632	: mittelgrauer Ton der oberen Abbauzone
T9633	: grauer Ton der oberen Abbauzone
T9634	: grünstichiger grauer Ton der oberen Abbauzone
T9635	: grünstichiger grauer Ton der oberen Abbauzone
T9636	: blauer Ton der oberen Abbauzone
T9637	: blauer Ton der oberen Abbauzone
T9638	: rostgefleckter blauer Ton (Grenze obere – untere Abbauzone)
T9639	: violettgeflammt blauer Ton der unteren Abbauzone
T9640	: violett – blau – geflammt Ton
T9641	: rostfleckiger violetter Ton
T9642	: violetter Ton

Horizontalprofil:

oberste violette Tonlage; etwa vergleichbar mit T9638 – T9640

T9643	: Übergang violetter blauer Ton
T9644	: Übergang violetter blauer Ton
T9645	: Übergang violetter blauer Ton
T9646	: Übergang violetter blauer Ton
T9647	: Übergang violetter blauer Ton

Proben aus der Tongrube Kleinbettenrain : (R: 4527200, H: 5378000)
vergleiche Abbildung 13

TH 17	: graublauer Ton sandig
TH 18	: graublauer Ton, sandig
TH 19	: graublauer Ton, sandarm
TH 20	: blauer Ton
TH 21	: blauer Ton
TH 22	: blauer Ton
TH 35	: violetter Ton, 10 cm unterhalb der kalkigen Zone
TH 34	: violetter Ton
TH 33	: violetter Ton
TH 32	: violetter Ton
TH 31a	: violetter Ton
TH 31b	: braunvioletter Ton
TH 30	: braunvioletter Ton
TH 29	: braunvioletter Ton
TH 28	: braunvioletter Ton
TH 27	: braunvioletter Ton, sandig
TH 26	: toniger Sand

verschiedene Tone der Tongrube in Kleinbettenrain : (R: 4527200, H: 5378000)

9897	: blaugrauer Ton (80 bis 100 cm unter Tonobergrenze)
9898	: weißgrauer Ton (10 cm unter Tonobergrenze)
9899	: Silt (0.8 m über Tonobergrenze)
9900	: glimmerführende Sande

verschiedene Kröniger Tone (von Dr. H.J. Unger) :

T7440/39	: graublauer Ton (Eck R:27 950, H:76 150)
T7440/49	: grauer Ton mit rotbraunen Zonen (mit groben Körnern) (Unterspechtrain R:34 650, H:80 550)
T7440/92	: blaugrauer Ton (Großbettenrain R:26 780, H:78 120)
T7440/93	: blauer Ton (Großbettenrain R:26 780, H:78 120)
T7440/105	: grauer Ton (Großbettenrain R:26 780, H:78 120)
T7440/106	: braunschwarzer Ton (Großbettenrain R:26 780, H:78 120)
T7440/108	: (Otzelberg R:28 800, H:78 250)
T7440/114	: braungrauer Ton (Krönig R:25 070, H:79 000)
T7440/118	: grauer Ton (Magersdorf R:25 950, H:79 650)
T7540/177	: blaugrauer Ton mit Rostflecken (Kögleck R:27 600, H:65 320)
T7540/178	: weißgrauer Ton mit weißen Konkretionen (Kögleck R:27 600, H:65 320)
T7540/179	: grauer Ton (Kögleck R:27 600, H:65 320)
T7540/181	: grauer Ton N - Siebengadern (N - Dörfel R:35 900, H:68 950)
T7540/182	: weißgrauer Ton, N - Dörfel (N - Dörfel R:36 250, H:69 170)
T7541/42	: brauner Ton (Thalkofen R:37 880, H:72 750)

Hundspoint : Schicht ? . 15. Jahrhundert

H1	: unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz, red.
H2	: innen braun glasiertes Bruchstück, außen beige gelb, beige, ox.
H3	: unglasiertes Bodenstück, beige, beige gelb, ox.
H4	: innen braunschwarz glasiertes Bodenstück, hellgrau - schwarzgrau, gelb, ox.
H5	: unglasiertes Bruchstück, grau, schwarz, red.
H6	: unglasiertes Bruchstück, grau, schwarz, red.
H7	: unglasiertes Bruchstück, grau, schwarz, red.
H8	: unglasiertes Bruchstück, braungrau (grob gemagert), schwarz, red.

Hundspoint : Schicht ? , 15. Jahrhundert

H10F	: unglasiertes Randstück, grau, schwarz, red.
H11F	: unglasiertes Randstück, braun, schwarz, red.
H12F	: unglasiertes Randstück, graubraun, schwarz, red.
H13F	: unglasiertes Bodenstück, grauschwarz, schwarz, red.
H14F	: unglasiertes Bodenstück, braun, innen hellbraun - außen schwarz, red.
H15F	: unglasiertes Bodenstück, braun, schwarz, red.
H16F	: unglasiertes Bodenstück, grauschwarz, schwarz, red.
H17F	: unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz, red.
H18F	: unglasiertes Randstück, braunschwarz, schwarz, red.
H19F	: unglasiertes Bruchstück, (dünn gewellt), dunkelgraubraun, schwarz, red.
H20F	: unglasiertes Randstück. schwarzgrau, schwarz, red.

Hundspoint : Schüsselkacheln, 15. Jahrhundert

- H1S : unglasiertes Bruchstück, bräunlichgrauschwarz, schwarz, red.
 H2S : unglasiertes Bruchstück, grau, graubraun, ?
 H3S : unglasiertes Bruchstück, bräunlichgrauschwarz, schwarz, ?

Hundspoint : oxidierend gebrannte Keramik, 15. Jahrhundert

- H1O : innen blaubraun glasierter Scherben, beige, gelblichbeige, ox.
 H2O : unglasiertes Bruchstück, beige, innen beige, außen dunkelgelb, ox.
 H3O : innen grün glasiertes Bruchstück, beige, außen beige, ox.

Kleinbettenrain Nr.2 / Wurzer : ?

- K1 : unglasiertes Randstück, schwarzgrau, schwarz, red.
 K2 : unglasiertes Bruchstück, graubeige, innen schwarz - außen schwarzbraun,
 K3 : unglasiertes Randstück, graubeige, schwarz, ?
 K4 : unglasiertes Bruchstück, beige, beige, ox.
 K5 : innen braunblau glasiertes Randstück, beige, außen gelb, ox.
 K6 : unglasiertes Bruchstück, beige mit dunklerem Kern, innen beige - außen gelb, ox.
 K7 : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarz, red.
 K8 : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarz, red.

Vilsbiburg :

- V1 : innen grün glasiertes Bruchstück, grauschwarz,
 V2 : innen grün glasiertes Bodenstück, beige, beige, ox.
 V3 : unglasiertes Bruchstück, grau, innen schwarz - außen schwarzbraun,
 V4 : innen schwarz glasiertes Randstück, schwarz, schwarz, ?
 V5 : innen gelb glasiertes Randstück, grau, gelblich, ?
 V6 : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarz, red.
 V7 : innen gelb glasiertes Bruchstück, hellgrau, schwarz, ?
 V8 : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarz, red.
 V9 : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarz, red.
 V10 : innen braunblau glasiertes Bruchstück, hellgrau, grauschwarz
 V11 : unglasiertes Bodenstück, schwarzgrau, schwarz, red.
 V12 : innen dunkel glasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarz, ?
 V13 : innen braunblau glasiertes Bruchstück, beige, beige, ox.

Vilsbiburg : Obere Stadt 18, 19. Jahrhundert

- V14 : innen mit dunklen Tupfen glasiertes Bruchstück, hellbeige, außen hellbeige, ox.
 V15 : beidseitig glasiertes Bruchstück, beige, gelb glasiert, ox.
 V16 : beidseitig glasiertes Bruchstück, ?
 V17 : innen gelb glasiertes Bruchstück, beige, außen rotbraun, ox.
 V1B : unglasiertes Bruchstück, rotbraun, rotbraun, ?
 V2B : unglasiertes Bruchstück, beige, beige, ox.
 V3B : braunblau glasiertes Randstück, beige, dunkelgelb, ox.
 V4B : innen blauschwarz glasiertes Bruchstück, beige, beige, ox.
 V5B : innen gelb glasiertes Randstück, beige, beige, ox.
 V6B : unglasiertes Bruchstück, beige, beige, ox.
 V7B : unglasiertes Bruchstück, braungrau, braungrau, ?
 V11B : innen gelb glasierter Rand, beige, beige, ox.
 V12B : innen grün glasiertes Randstück, rötlich - braun, rötlich - braun, ox.
 V13B : innen gelb mit braunen Tupfen glasierter Boden, beige, gelb, ox.
 V14B : außen gelb glasiertes Bruchstück, beige, gelb, ox.

- V13B** : innen gelb mit braunen Tupfen glasierter Boden, beige, gelb, ox.
V14B : außen gelb glasiertes Bruchstück, beige, gelb, ox.

Vilsbiburg : Obere Stadt 33, 17. Jahrhundert

- V18** : unglasiertes Randstück, grauschwarz, schwarz, red.
V19 : unglasiertes Bruchstück, schwarzgrau, schwarz, red.
V20 : innen schwarz glänzend glasiertes Bruchstück, graubraun - nach innen eine schwarze Zone, schwarz (Fehlbrand), ?
V21 : dunkel glasiertes Bodenstück, braun, außen rotbraun, ?
V22 : braunes weiches Stück, braun, braun ?
V23 : unglasiertes Bruchstück, beige, beige, ox.
V1C : unglasiertes Randstück, beige - rotbraun, beige - rotbraun, ox.
V2C : unglasiertes Randstück, beige, beige, ox.
V3C : unglasiertes Randstück, beige, beige, ox.
V4C : unglasiertes Randstück, grau, schwarzgrau, ?
V5C : unglasiertes Bruchstück, hellrotbraun, hellrotbraun, ox.
V6C : innen schwarzbraun glasiertes Henkelrandstück, schwarz mit braunem Kern (Henkel unglasiert) schwarz, ?
V7C : unglasierter Henkel, beige, beige, ox.
V8C : innen braunblau glasiertes Bodenstück, bräunlichbeige, dunkelgelb, ox.
V9C : innen grün glasiertes Bodenstück, beige, beige, ox.
V10C : innen schwarzbraun glasiertes Bodenstück, beige, beige, ox.
V11C : unglasiertes Bruchstück, bräunlichrot, bräunlichrot, ox.
V12CK : unglasiertes Randstück, beige, beige, ox.
V13CK : unglasiertes Randstück, hellbraun, hellbraun, ?

Öd : Lesefunde bei Öd, Altgemeinde Dietelskirchen, Gemeinde Kröning

- Ö1** : unglasiertes Randstück, schwarz, schwarz, red.
Ö2 : unglasiertes Randstück, schwarzgrau, innen schwarz - außen schwarzbraun, ?
Ö3 : unglasiertes Bodenstück, schwarzgrau, braunschwarz, red.
Ö4 : unglasiertes Bruchstück, grauschwarz, schwarz, red.

Bina, Dörf Nr. 59 : im Felde 50 m westlich vom Anwesen "Beim Schmidtjörg"

- B1F** : innen blau - braun - schwarz, außen gelb glasiertes Bodenstück, beige, ox.
B2F : unglasiertes Bodenstück, grau, schwarz, red.
B3F : unglasiertes Henkelstück mit gelbgrün glasiertem Innenteil, beige, gelblich, ox.
B4F : innen hellgrün glasiertes Bodenstück, beige, gelb, ox.
B5F : unglasiertes Bruchstück, beige, beige, ox.

Bina, Dörf Nr. 59 : 150 m westlich vom Anwesen "Beim Schmidtjörg"

- B6F** : dickes unglasiertes Bruchstück, rotbraungrau, braungrau, ?
B7F : dickes unglasiertes Bruchstück, graubraunschwarz, schwarz, red.
B8F : unglasiertes Bodenstück, graubraunschwarz, schwarz, red.
B9F : unglasiertes Randstück (Kragenrand), hellbraunbeige, schwarz, ?
B10F : unglasiertes Henkel, grauschwarz mit schwarzem Kern, schwarz, red.

Schüssel aus Jesendorf (zur Homogenitätsmessung benutzt)

- JS1T : Jesendorf Wippenbeck, Randstück einer Schüssel, ox.
 JS2T : Jesendorf Wippenbeck, Wandstück oben einer Schüssel, ox.
 JS3T : Jesendorf Wippenbeck, Wandstück unten einer Schüssel, ox.
 JS4T : Jesendorf Wippenbeck, Bodenstück einer Schüssel, ox.

Regensburg : Prebrunn 14./16. Jahrhundert

- RP1 : unglasierter Henkel mit Kerben, beige mit schwärzlichem Kern, ox.
 RP2A : unglasiertes Henkel/Wandstück, Henkel, rotbraun, rotbraun, ox.
 RP2B : unglasiertes Henkel/Wandstück, Wand, rotbraun, rotbraun, ox.
 RP3 : unglasiertes Wandstück, (0.6 cm), grau, rotbraun, ox.
 RP4 : unglasiertes Wandstück (0.5 cm), beige, beige, ox.
 RP5 : stark grilltes Wandstück, schwarzbraun, schwarzbraun, (Überbrand)
 RP6 : unglasiertes dickes Randstück (2.3x2.5x3 cm), beigebraun, beigebraun, ox.
 RP7 : unglasiertes Stück, weißlich beige, dunkler, ox. (Rand - Wand - Bodenstück)
 RP8 : dickes Wandstück (1.4 cm), mit Tonklümpchen, beige (Kern leicht reduziert), beige, beige, ox.
 RP9 : Randstück einer Schüsselkachel, außen stark grillt, bräunlich grau, hellbraun, ox.
 RP10 : unglasiertes Stück (Rand - Wand - Bodenstück), schwarz, schwarz, red.

Alle Proben aus Regensburg sind sehr grob gemagert mit Körnern > 1mm.

Hub : Hühnergarten , 1750 - 1850

- HUO1W : bräunlich glasiertes Henkelwandstück, beige, ox.
 HUO1H : Henkel von HUO1W, porös, beige, ox.
 HUO2W : innen braun glasierter Henkeltopf (grob gemagert, Fehlbrand), röt. beige, ox.
 HUO2H : Henkel zu HUO2W, rotbraun
 HUO 3 : innen gelb glasiertes Bodenstück, beige, röt. gelb, ox.
 HUO4 : innen gelb glasiertes Randstück, hellbraun, rötlich gelb, ox.
 HUO5 : innen dunkelbraun glasiertes Bodenstück(Krug), grau (zoniert), röt. gelb, ox.
 HUO6 : innen dunkelbraun glasiertes Randstück (Kragenrand), eines Topfes, hellgrau, beige außen - schwach braun, ox.
 HUO7 : Fuß eines Dreifuß, rotbraun, röt. gelb, ox.
 HUO8 : oben gelblich braun glasierter Deckel, beige (zur Glasur hin), ox.
 HUO9 : Fuß eines Dreifuß, rotbraun, röt. braun, ox.
 HUO10 : Bodenstück, schwach braun, beige, ox.
 HUO11 : Randstück eines Topfes (Kragenrand), hellbraun, hellbraun, ox.
 HUO12 : Randstück eines Topfes (Kragenrand, außen mit zwei Zierrillen), beige, innen und außen. ox.
 HUO13 : Randstück einer Schüssel (Kremprand), beige, ox.
 HUO14 : Randstück eines Topfes (Kragen), hellbraun, beige, ox.
 HUO15 : Wandstück, rötlich braun, schwach braun, ox.

- HUS1H : Henkeltopf (Kremprand, innen etwas geglättet), rotbraun, red.
 HUS1W : Wandstück zu HUS1H, grau, schwarz, red.
 HUS2 : Bodenstück eines Kruges, grau, grau, red.
 HUS3W : kleiner Henkeltopf (oxidierend Fehlbrand), graubraun, schwarz, red.
 HUS3H : Henkel zu HUS3W, schwarz, red.
 HUS4 : Schüsselkachel, grau, schwarz, red.
 HUS5W : gr. Schüssel mit Henkel (Kremprand, innen glattgestrichen), bräunl. grau, schwarz, red.
 HUS5H : Henkel zu HUS5W, ", red.
 HUS6 : Henkelstück, hellgrau, schwarz, red.

HUS7	: Randstück mit Rillendekor außen (Kremprand), hellgrau, schwarzgrau bis grau, red.
HUS8	: große Schüssel mit Kragenrand, (ausen Rillen), hellgrau, schwarz, red.
HUS9	: Randstück (Kragen), hellgrau, schwarz bis hellgrau, red.
HUS10	: Randstück (Kremprand), hellgrau, dunkelbraun bis grau, red
HUS11	: Randstück (Kremprand), grau, schwarz bis braunschwarz, red.
HUS12	: Henkelstück, grau, schwarzbraun, red.
HUS13	: Wandstück mit Rillendekor, hellbraun, schwarz, red.
HUS14	: Randstück (Kremprand, außen Rillendekor), grau, schwarz bis grau, red.
HUS15	: Randstück (Kragenrand), grau, außen schwarz (Glimmerschuppen), red.

Hub : Hof , 17. Jahrhundert

HUB1	: innen grün glasiertes Bodenstück, beige, rötl. gelb, ox.
HUB2	: braunschwarz glasiertes Randstück (Kragen), grau, ox.
HUB3	: Randstück eines Topfes (innen geglättet), grau, außen schwarz, red.
HUB4	: Deckel mit Rand eines "Deckelgriftopfes", grau, schwarz, red.
HUB5H	: Henkel mit Rand einer Kanne, grau, braunschwarz, red.
HUB5W	: Wandstück zu HUB5H.
HUB6W	: Henkeltopf, grau, grau bis schwarz, red.
HUB6H	: Henkel zu HUB6W.
HUB7W	: großer Krug, grauschwarz, schwarz, red
HUB7H	: Henkel zu HUB7W.
HUB8	: Bodenstück eines Topfes mit Liniendekor außen, schwarzgrau, schwarz, red.
HUB9	: niedrige Schale mit Glättungsdekor, grau, schwarz, red.
HUB10	: kleine Schale (innen zick - zack Verzierung), grau, schwarz, red.
HUB11	: Stück einer Kanne, (außen Glättungsverzierung), hellgrau, schwarz, red.
HUB12	: Randstück eines Essigkruges?, (mit Zierleiste Strichdekor außen), schwarzgrau, schwarz, red.
HUB13	: Wandstück mit Kragenrand (außen Liniendekor), grau bis schwarz, schwarz bis grau, red.
HUB14	: Schüsselnkachel, grau, schwarz (glimmerig), red.
HUB15	: Teller mit Kragenrand (innen geglättet), grau, schwarz, red.
THUB	: Ton von Hub Hühnergarten, grau.

Gschaid: 16./17. Jahrhundert

G1	: unglasiertes Randstück, hellbeige, außen weiß, ox.
G2	: unglasiertes Randstück, beige, hellbeige, ox.

Anhang II: RFA – Meßwerte

[%]	K1A	K2A	K3A	K4A	K5A	K6A	K7A	K8A	K9A	K1B
SiO ₂	75.44	72.01	71.66	74.97	72.86	74.08	69.59	75.65	70.62	70.43
TiO ₂	1.36	1.44	1.38	1.32	1.40	1.30	1.45	1.28	1.48	1.46
Al ₂ O ₃	18.89	20.54	20.94	18.50	20.71	17.33	23.97	18.92	22.60	22.18
Fe ₂ O ₃	2.33	2.88	2.63	2.42	2.61	2.19	2.72	2.70	2.77	2.94
MnO	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01
MgO	.42	.57	.39	.46	.45	.45	.53	.40	.56	.51
CaO	.39	.50	.36	.47	.49	.38	.42	.44	.52	.70
Na ₂ O	.15	.11	.14	.34	.19	.12	.13	.11	.12	.20
K ₂ O	1.09	1.22	1.41	1.13	1.24	1.12	1.28	1.13	1.14	1.14
P ₂ O ₅	.11	.12	.08	.07	.07	.05	.04	.05	.09	.13
GV =	.8	1.4	5.5	1.2	1.2	.7	1.4	.7	1.2	1.7
[ppm]										
Ba	359.	352.	345.	336.	351.	330.	370.	320.	337.	352.
Cr	78.	88.	84.	79.	85.	77.	95.	80.	89.	89.
Ni	19.	23.	22.	21.	22.	19.	28.	20.	27.	21.
Rb	50.	60.	57.	49.	52.	51.	63.	54.	56.	51.
Sr	48.	53.	39.	49.	48.	45.	55.	45.	51.	53.
Zn	44.	50.	58.	42.	46.	46.	54.	47.	64.	53.
Zr	301.	286.	276.	297.	277.	321.	220.	269.	252.	248.
Nb	27.	30.	30.	27.	26.	28.	30.	25.	28.	27.
Y	25.	27.	23.	22.	23.	26.	23.	23.	27.	19.
V	113.	134.	139.	124.	130.	116.	144.	112.	141.	140.
SUM =	100.30	99.51	99.11	99.79	100.14	97.14	100.25	100.79	100.02	99.81

[%]	K2B	K3B	K4B	K5B	K6B	K7B	K8B	K9B	K10B	K1C
SiO ₂	70.17	69.25	68.35	68.70	71.13	70.98	73.67	68.88	72.72	75.06
TiO ₂	1.35	1.37	1.20	1.39	1.33	1.37	1.34	1.34	1.39	1.08
Al ₂ O ₃	21.10	23.86	24.41	24.23	22.31	22.70	20.96	23.49	21.60	17.99
Fe ₂ O ₃	2.84	3.22	3.53	3.24	3.17	3.19	2.92	3.16	2.81	2.88
MnO	.02	.01	.02	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.02
MgO	.49	.55	.67	.55	.50	.53	.45	.54	.51	.55
CaO	.63	.61	.72	.59	.61	.59	.51	.75	.56	.55
Na ₂ O	.21	.11	.10	.18	.15	.08	.04	.22	.15	.12
K ₂ O	1.25	1.17	1.39	1.19	1.15	1.10	1.08	1.23	1.17	1.17
P ₂ O ₅	.12	.08	.07	.08	.17	.15	.07	.15	.10	.06
GV =	2.8	1.1	.9	.8	2.7	1.2	1.0	2.9	1.9	1.1
[ppm]										
Ba	319.	342.	329.	350.	296.	354.	339.	307.	342.	256.
Cr	88.	92.	98.	98.	97.	91.	87.	91.	87.	83.
Ni	23.	26.	31.	26.	28.	27.	22.	29.	21.	23.
Rb	48.	55.	63.	54.	51.	53.	48.	51.	50.	49.
Sr	40.	55.	53.	53.	43.	50.	48.	41.	47.	45.
Zn	48.	57.	62.	54.	52.	56.	50.	55.	49.	45.
Zr	252.	193.	127.	193.	208.	214.	240.	184.	247.	221.
Nb	30.	29.	27.	29.	31.	31.	29.	32.	29.	23.
Y	21.	19.	17.	21.	21.	23.	22.	20.	22.	19.
V	139.	130.	135.	140.	140.	144.	131.	140.	142.	114.

SUM = 98.28 100.33 100.55 100.26 100.63 100.80 101.15 99.86 101.12 99.57

[%]	K2C	K3C	K4C	K5CH	K6C	K7C	K8C	K9C	K10C	K11C
SiO ₂	73.29	69.15	62.21	68.56	71.33	73.67	78.57	72.71	74.39	79.44
TiO ₂	1.16	1.29	1.46	1.24	1.47	1.07	1.18	1.12	1.44	1.15
Al ₂ O ₃	20.04	24.12	29.27	23.99	21.28	18.79	16.14	19.76	20.21	15.13
Fe ₂ O ₃	3.13	3.46	3.72	3.39	2.88	3.09	2.63	3.22	2.83	2.40
MnO	.02	.02	.01	.01	.01	.02	.01	.02	.01	.02
MgO	.61	.54	.58	.59	.55	.61	.44	.61	.55	.49
CaO	.61	.64	.74	.69	.44	.51	.42	.54	.43	.46
Na ₂ O	.06	.09	.11	.09	.10	.09	.06	.05	.08	.08
K ₂ O	1.01	1.02	1.30	1.19	1.23	1.23	.80	1.05	1.20	.97
P ₂ O ₅	.08	.07	.08	.07	.06	.90	.20	.07	.05	.05
GV =	.7	n.b.	3.8	1.1	.8	3.4	2.2	.8	.7	.7

[ppm]

Ba	280.	271.	285.	316.	359.	322.	281.	300.	335.	256.
Cr	92.	101.	102.	96.	92.	89.	87.	96.	89.	76.
Ni	25.	26.	34.	29.	22.	26.	19.	23.	21.	20.
Rb	49.	48.	56.	54.	60.	53.	40.	58.	61.	42.
Sr	46.	45.	44.	51.	51.	46.	38.	47.	51.	42.
Zn	53.	52.	62.	57.	50.	53.	39.	47.	48.	42.
Zr	214.	204.	128.	180.	279.	212.	277.	198.	288.	281.
Nb	25.	28.	30.	28.	30.	24.	25.	26.	30.	23.
Y	20.	18.	15.	19.	24.	22.	23.	19.	26.	23.
V	123.	141.	151.	135.	148.	120.	118.	125.	143.	114.
SUM =	100.10	100.49	99.57	99.92	99.46	100.08	100.54	99.24	101.30	100.28

[%]

	K10D	K2DH	K3D	K4D	K5D	K6D	K7D	K8D	K9D	K12E
SiO ₂	70.46	74.41	75.34	74.96	71.91	70.40	73.45	73.44	68.25	74.42
TiO ₂	1.29	1.22	1.20	1.26	1.24	1.25	1.26	1.27	1.38	1.25
Al ₂ O ₃	22.25	19.44	18.55	18.51	21.96	22.18	18.77	19.72	23.79	19.81
Fe ₂ O ₃	2.90	2.48	2.50	2.79	3.02	3.64	3.01	3.05	3.64	2.44
MnO	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.02	.01	.03	.01
MgO	.54	.47	.38	.47	.51	.52	.34	.45	.55	.39
CaO	.62	.60	.53	.55	.64	.66	.53	.57	.65	.55
Na ₂ O	.11	.05	.07	.04	.09	.05	.06	.06	.06	.10
K ₂ O	.83	.67	.76	.63	.75	.80	.70	.72	.76	.74
P ₂ O ₅	.08	.23	.56	.24	.40	.63	.60	.74	.27	.50
GV =	.5	.4	3.5	.6	.9	1.0	3.7	1.9	1.9	2.6

[ppm]

Ba	276.	261.	262.	285.	327.	410.	267.	319.	284.	265.
Cr	93.	80.	83.	81.	88.	90.	88.	91.	100.	87.
Ni	25.	22.	24.	23.	27.	25.	21.	26.	31.	26.
Rb	42.	34.	31.	33.	40.	41.	32.	34.	44.	31.
Sr	45.	41.	37.	42.	45.	48.	36.	41.	43.	40.
Zn	70.	52.	61.	60.	71.	86.	57.	71.	64.	50.
Zr	221.	279.	245.	260.	223.	214.	248.	251.	215.	256.
Nb	28.	25.	26.	26.	29.	26.	26.	26.	30.	28.
Y	18.	19.	18.	21.	18.	20.	19.	23.	20.	21.
V	133.	125.	131.	123.	134.	134.	135.	133.	145.	126.
SUM =	99.19	99.67	99.99	99.56	100.63	100.25	98.83	100.13	99.48	100.30

[%]	K3E	K4E	K5E1	K6E	K7E	K8E	K9E	K10E	K11E	K12E
SiO ₂	70.79	71.12	72.84	66.69	76.35	68.68	69.33	72.05	64.55	76.37
TiO ₂	1.26	1.28	1.19	1.42	1.19	1.44	1.23	1.17	1.29	1.20
Al ₂ O ₃	21.50	21.57	19.14	23.79	17.26	24.14	20.95	20.07	27.57	18.02
Fe ₂ O ₃	3.20	3.61	3.09	3.22	3.03	3.23	3.02	2.98	3.60	2.82
MnO	.01	.03	.01	.01	.03	.01	.02	.01	.02	.01
MgO	.35	.64	.49	.54	.48	.52	.54	.62	.49	.44
CaO	.52	.63	.57	.62	.47	.65	.67	.54	.69	.51
Na ₂ O	.08	.12	.08	.12	.06	.20	.15	.08	.13	.10
K ₂ O	.80	.94	.91	1.14	.75	1.26	.95	.91	.95	.75
P ₂ O ₅	.79	.34	.37	.10	.51	.11	.28	.09	.31	.34
GV =	4.5	1.3	1.3	.5	1.2	2.2	1.4	.4	.3	4.2

[ppm]

Ba	292.	291.	311.	352.	272.	323.	256.	276.	250.	249.
Cr	95.	100.	89.	96.	92.	96.	88.	93.	96.	86.
Ni	30.	27.	24.	26.	22.	26.	32.	25.	34.	21.
Rb	32.	52.	45.	54.	40.	53.	44.	51.	46.	37.
Sr	35.	44.	46.	52.	39.	41.	44.	46.	35.	36.
Zn	77.	57.	60.	57.	51.	52.	62.	50.	61.	42.
Zr	226.	226.	243.	209.	255.	210.	234.	234.	165.	251.
Nb	28.	27.	25.	30.	25.	30.	29.	25.	30.	26.
Y	20.	21.	20.	23.	22.	20.	21.	21.	18.	20.
V	139.	136.	127.	147.	123.	149.	121.	125.	149.	128.
SUM =	99.40	100.38	98.79	97.75	100.22	100.34	97.23	98.61	99.69	100.65

[%]	K20	K30	K40	K50	K1W	K1S	K2S	K3S	K4S	K5S
SiO ₂	73.43	72.27	72.48	78.08	71.01	74.03	69.52	65.97	67.53	70.78
TiO ₂	1.35	1.33	1.39	1.36	1.02	1.21	1.11	1.35	1.18	1.07
Al ₂ O ₃	20.08	20.88	20.99	17.12	20.78	19.64	22.27	23.64	23.29	21.31
Fe ₂ O ₃	2.54	2.52	2.67	2.38	2.98	3.05	3.17	3.64	3.21	3.00
MnO	.02	.01	.01	.02	.02	.03	.02	.02	.02	.02
MgO	.45	.45	.48	.39	.51	.56	.55	.68	.54	.55
CaO	.70	.60	.50	.40	.64	.65	.58	.83	.76	.97
Na ₂ O	.10	.16	.01	.06	.16	.07	.09	.21	.12	.13
K ₂ O	1.20	1.16	1.36	1.03	1.47	.88	1.21	1.66	1.49	1.31
P ₂ O ₅	.25	.13	.07	.06	.17	.14	.08	.34	.65	.26
GV =	.9	2.5	1.0	2.0	3.1	1.0	.7	2.1	4.2	2.0

[ppm]

Ba	473.	390.	368.	316.	360.	319.	326.	489.	347.	374.
Cr	79.	78.	84.	83.	79.	87.	87.	105.	97.	85.
Ni	22.	23.	23.	18.	28.	24.	26.	27.	27.	25.
Rb	49.	48.	51.	48.	61.	43.	57.	75.	58.	54.
Sr	52.	39.	51.	48.	46.	48.	46.	60.	45.	48.
Zn	59.	125.	49.	42.	55.	49.	50.	66.	71.	67.
Zr	261.	277.	267.	337.	139.	244.	134.	249.	144.	147.
Nb	28.	28.	28.	28.	24.	27.	24.	27.	26.	23.
Y	20.	22.	22.	24.	17.	21.	15.	19.	16.	18.
V	122.	123.	120.	122.	118.	127.	126.	150.	133.	125.

SUM = 100.24 99.63 100.07 101.01 98.85 100.36 98.69 98.47 98.89 99.50

[%]	K1H	K2H	K3H	K4H	K5H	H1A	H2A	H3A	H4A	H5A
SiO ₂	70.34	66.90	69.98	72.12	69.52	76.26	69.05	72.16	73.58	68.80
TiO ₂	1.06	1.18	1.21	1.12	1.17	1.00	1.03	.92	1.36	.94
Al ₂ O ₃	23.44	24.05	20.69	22.31	23.39	16.56	19.76	18.12	20.63	17.98
Fe ₂ O ₃	3.16	3.40	3.20	3.08	3.25	4.46	5.50	5.34	2.44	7.11
MnO	.02	.02	.02	.02	.02	.02	.02	.01	.01	.05
MgO	.52	.54	.48	.52	.46	.79	1.01	.74	.51	1.43
CaO	.68	.75	.64	.59	.53	.43	.46	.34	.53	.51
Na ₂ O	.09	.08	.10	.09	.20	.12	.48	.21	.20	.40
K ₂ O	1.24	1.28	1.29	1.26	1.48	1.57	2.44	2.08	1.47	2.55
P ₂ O ₅	.16	.68	.22	.09	.08	.14	.07	.09	.06	.13
GV =	2.5	2.7	2.2	1.0	3.5	1.0	4.5	3.2	1.8	1.9

[ppm]

Ba	338.	504.	362.	327.	368.	302.	417.	349.	354.	476.
Cr	85.	86.	91.	89.	99.	111.	120.	116.	84.	116.
Ni	30.	30.	23.	24.	31.	27.	40.	33.	25.	46.
Rb	55.	57.	60.	58.	60.	83.	104.	97.	60.	148.
Sr	43.	53.	44.	48.	44.	50.	66.	51.	50.	66.
Zn	60.	75.	55.	54.	57.	55.	88.	64.	54.	89.
Zr	122.	124.	210.	139.	157.	259.	230.	229.	256.	208.
Nb	24.	26.	27.	24.	24.	22.	22.	21.	29.	19.
Y	15.	15.	20.	16.	17.	29.	28.	24.	24.	28.
V	120.	131.	135.	130.	134.	124.	139.	129.	132.	130.
SUM =	100.80	98.99	97.93	101.29	100.20	101.46	99.95	100.12	100.90	100.03

[%]	H6A	H7AH	H8A	H9A	H10A	H1B	H2B	H3B	H4B	H5B
SiO ₂	71.50	72.73	70.87	72.66	71.55	70.51	70.27	70.23	69.50	69.11
TiO ₂	1.30	1.36	.88	1.05	.97	.89	.98	.94	.88	1.01
Al ₂ O ₃	20.85	21.32	18.95	17.97	17.67	19.54	20.26	20.01	17.97	19.81
Fe ₂ O ₃	3.60	3.06	5.52	4.70	5.34	5.06	5.36	5.25	4.85	5.92
MnO	.02	.01	.03	.01	.03	.03	.03	.03	.03	.02
MgO	.71	.54	1.04	.85	1.25	.85	.88	.91	.94	1.09
CaO	.50	.61	.55	.40	.46	.52	.51	.51	.50	.51
Na ₂ O	.21	.16	.17	.12	.39	.21	.22	.26	.21	.33
K ₂ O	1.60	1.15	2.05	1.57	2.30	1.98	1.68	1.79	1.88	2.15
P ₂ O ₅	.16	.13	.09	.07	.08	.12	.05	.04	.06	.08
GV =	1.0	.9	1.0	.9	1.1	1.5	1.2	1.4	.5	1.0

[ppm]

Ba	455.	324.	396.	335.	421.	392.	336.	365.	369.	398.
Cr	94.	86.	113.	108.	112.	123.	128.	114.	114.	132.
Ni	33.	26.	47.	27.	39.	31.	33.	34.	25.	46.
Rb	79.	57.	117.	87.	117.	98.	104.	104.	104.	119.
Sr	62.	54.	63.	52.	61.	52.	58.	56.	63.	62.
Zn	69.	55.	85.	57.	85.	61.	64.	67.	64.	82.
Zr	263.	241.	209.	244.	258.	194.	212.	213.	204.	233.
Nb	28.	31.	20.	22.	20.	19.	23.	19.	20.	20.
Y	29.	21.	42.	24.	34.	24.	28.	31.	28.	32.
V	123.	118.	129.	129.	130.	127.	139.	133.	123.	135.
SUM =	100.57	101.17	100.27	99.51	100.17	99.82	100.35	100.08	96.93	100.16

[%]	H6B	H7B	H8B	H9B	H10B	H1C	H2C	H3C	H4C	H5C
SiO ₂	70.29	74.03	71.35	72.00	70.84	70.49	67.98	74.96	68.47	74.38
TiO ₂	.96	.99	.96	.98	.96	.93	.87	.95	.97	.92
Al ₂ O ₃	20.33	16.73	18.79	18.54	19.84	18.46	20.13	17.13	19.15	18.10
Fe ₂ O ₃	4.97	4.23	5.37	5.06	5.22	5.35	6.47	4.08	5.30	4.27
MnO	.02	.04	.02	.03	.04	.04	.05	.02	.03	.02
MgO	.81	.78	.92	1.01	.90	.93	1.08	.72	1.02	.75
CaO	.54	.52	.44	.47	.51	.64	.62	.48	.53	.47
Na ₂ O	.20	.21	.29	.22	.18	.28	.26	.18	.24	.16
K ₂ O	1.85	2.04	2.16	1.98	1.81	2.31	2.32	1.87	2.01	1.77
P ₂ O ₅	.19	.16	.21	.15	.05	.22	.06	.12	.06	.10
GV =	1.4	2.0	2.2	1.3	.9	2.2	1.1	1.6	.9	1.3

[ppm]

Ba	428.	356.	389.	411.	347.	392.	427.	346.	398.	348.
Cr	127.	104.	111.	118.	118.	111.	120.	109.	126.	112.
Ni	33.	26.	35.	36.	36.	41.	44.	27.	33.	26.
Rb	100.	82.	111.	104.	106.	114.	127.	85.	117.	86.
Sr	56.	48.	56.	57.	54.	60.	60.	52.	65.	49.
Zn	56.	66.	75.	74.	65.	77.	84.	59.	67.	54.
Zr	195.	245.	216.	220.	214.	213.	201.	216.	228.	220.
Nb	20.	18.	20.	22.	22.	20.	16.	20.	22.	20.
Y	22.	24.	28.	32.	31.	29.	32.	25.	27.	25.
V	138.	123.	127.	135.	136.	123.	127.	122.	138.	125.
SUM =	100.28	99.84	100.63	100.56	100.46	99.77	99.96	100.62	97.90	101.05

[%]	H6C	H7C	H8C	H9C	H10C	J1E	J2E	J3EH	J4E	J5E
SiO ₂	68.63	70.32	69.79	70.04	74.52	71.65	69.38	69.33	73.64	73.23
TiO ₂	.97	1.02	.90	.95	1.02	1.42	1.44	1.54	1.34	1.43
Al ₂ O ₃	20.05	18.72	19.12	20.38	17.05	21.02	23.52	22.88	20.80	20.16
Fe ₂ O ₃	5.49	5.19	5.74	5.38	4.33	2.85	3.26	3.01	2.70	2.77
MnO	.02	.04	.03	.03	.02	.01	.01	.01	.01	.02
MgO	1.05	.98	1.13	.89	.73	.52	.59	.55	.40	.45
CaO	.61	.54	.49	.51	.40	.46	.70	.54	.54	.45
Na ₂ O	.38	.22	.31	.21	.19	.25	.09	.11	.16	.16
K ₂ O	2.40	2.08	2.25	1.82	1.98	1.16	1.17	1.21	1.15	1.11
P ₂ O ₅	.29	.07	.07	.10	.20	.07	.06	.05	.11	.09
GV =	2.3	1.1	1.0	1.1	2.4	.7	.6	1.1	2.0	1.1

[ppm]

Ba	453.	383.	414.	360.	335.	348.	340.	359.	366.	354.
Cr	120.	116.	113.	123.	109.	86.	98.	92.	89.	89.
Ni	37.	36.	37.	35.	28.	22.	26.	24.	21.	20.
Rb	115.	109.	125.	104.	85.	55.	62.	58.	51.	53.
Sr	65.	56.	63.	54.	46.	53.	54.	56.	50.	53.
Zn	86.	69.	85.	64.	57.	49.	54.	52.	80.	48.
Zr	213.	240.	223.	208.	276.	274.	231.	248.	241.	295.
Nb	21.	22.	21.	21.	22.	30.	32.	30.	28.	28.
Y	32.	31.	30.	29.	29.	22.	23.	25.	21.	26.
V	130.	132.	131.	137.	126.	120.	150.	134.	124.	129.
SUM =	100.02	99.30	99.95	100.42	100.55	99.52	100.33	99.34	100.96	99.98

[%]	J6E	J7E	J8E	J9E	J11E	J12E	J13E	J1S	J2S	J3S
SiO ₂	69.50	73.28	74.93	72.19	72.61	71.70	76.82	69.12	67.30	71.67
TiO ₂	1.52	1.38	1.25	1.41	1.35	1.38	1.31	1.01	.94	.99
Al ₂ O ₃	23.84	20.67	19.50	20.67	20.66	20.23	18.59	20.88	20.81	18.85
Fe ₂ O ₃	3.12	2.70	2.65	2.82	2.71	2.70	2.62	4.69	6.64	4.79
MnO	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.02	.03	.03
MgO	.51	.45	.37	.51	.49	.49	.44	.83	.92	.93
CaO	.50	.43	.59	.48	.45	.50	.52	.52	.53	.56
Na ₂ O	.17	.12	.16	.10	.10	.09	.10	.21	.20	.14
K ₂ O	1.15	1.03	1.01	1.10	1.14	1.09	1.11	1.74	2.04	1.75
P ₂ O ₅	.05	.04	.23	.06	.05	.06	.05	.06	.14	.14

GV = 1.3 .8 .8 .3 .4 1.2 2.8 .4 .5 2.1

[ppm]

Ba	359.	322.	305.	339.	353.	341.	321.	395.	425.	423.
Cr	100.	89.	83.	91.	87.	83.	80.	123.	122.	116.
Ni	24.	24.	21.	25.	24.	22.	24.	27.	35.	32.
Rb	60.	51.	47.	55.	52.	52.	54.	96.	125.	98.
Sr	54.	53.	47.	54.	52.	50.	51.	56.	58.	59.
Zn	49.	53.	62.	59.	53.	64.	50.	53.	64.	58.
Zr	253.	279.	264.	285.	264.	280.	289.	194.	190.	231.
Nb	31.	27.	25.	30.	28.	30.	31.	20.	20.	22.
Y	24.	23.	23.	25.	25.	24.	26.	21.	24.	29.
V	150.	127.	119.	138.	134.	127.	133.	139.	139.	137.

SUM = 100.48 100.21 100.80 99.46 99.68 98.36 101.68 99.19 99.67 99.97

[%] J4S1 J5S J6S J7S J8S J9S J10S JWS 1 JWS 2 JWS 3

SiO ₂	69.29	72.21	74.08	69.58	69.33	70.11	71.55	72.47	74.30	81.28
TiO ₂	1.06	1.09	.90	1.02	1.00	.99	1.02	1.33	1.03	.98
Al ₂ O ₃	20.33	18.07	18.95	20.64	20.47	20.37	18.50	22.58	20.92	16.75
Fe ₂ O ₃	5.03	4.59	4.00	4.89	4.82	4.97	4.80	2.80	2.95	2.46
MnO	.03	.02	.01	.04	.03	.04	.03	.01	.03	.02
MgO	.80	.82	.53	.89	.89	.90	.98	.50	.51	.37
CaO	.63	.61	.34	.61	.61	.52	.52	.44	.47	.46
Na ₂ O	.32	.27	.09	.22	.23	.26	.16	.00	.01	.01
K ₂ O	1.91	1.65	1.34	1.75	1.76	1.86	1.59	1.07	1.21	1.28
P ₂ O ₅	.15	.43	.07	.37	.18	.09	.07	.06	.10	.06

GV = 2.1 1.4 .3 1.1 1.1 .5 .3 1.1 1.3 2.5

[ppm]

Ba	425.	390.	283.	448.	403.	401.	347.	336.	301.	318.
Cr	129.	120.	103.	125.	127.	127.	116.	94.	87.	84.
Ni	28.	31.	26.	30.	32.	32.	31.	28.	31.	27.
Rb	96.	90.	75.	99.	99.	104.	95.	60.	66.	63.
Sr	56.	60.	47.	62.	60.	58.	56.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	82.	62.	47.	64.	63.	79.	60.	47.	60.	43.
Zr	248.	249.	197.	218.	212.	217.	230.	203.	139.	178.
Nb	22.	21.	18.	21.	21.	22.	21.	29.	23.	22.
Y	25.	28.	18.	25.	26.	24.	27.	15.	15.	15.
V	146.	138.	116.	140.	139.	136.	137.	123.	98.	83.

SUM = 99.68 99.88 100.40 100.13 99.44 100.23 99.33 101.35 101.61 103.75

[%]	JWS 4	JWS 5	JWS 6	JWS 7	JWS 6	JWS 9	JWS10	JWS11	JWS12	JWS13
SiO ₂	68.64	68.12	68.10	68.37	66.43	75.50	70.38	68.68	68.08	69.47
TiO ₂	1.23	1.26	1.23	1.21	1.40	1.00	1.14	1.41	1.44	1.16
Al ₂ O ₃	24.79	25.23	25.82	24.92	26.63	20.01	22.36	24.20	25.25	24.39
Fe ₂ O ₃	3.51	3.31	2.89	3.38	3.45	2.83	3.91	3.80	3.21	3.13
MnO	.14	.04	.01	.13	.07	.02	.02	.08	.03	.02
MgO	.51	.56	.39	.52	.49	.48	.48	.47	.41	.43
CaO	.54	.53	.42	.55	.53	.50	.49	.51	.49	.52
Na ₂ O	.00	.00	.04	.02	.00	.02	.04	.00	.00	.02
K ₂ O	1.24	1.25	1.13	1.40	1.12	1.21	1.52	1.15	1.28	1.30
P ₂ O ₅	.17	.06	.13	.15	.09	.07	.15	.25	.16	.13
GV =	1.1	3.7	5.2	1.5	2.0	1.5	4.5	1.7	3.6	3.9

[ppm]

Ba	371.	324.	320.	375.	332.	292.	389.	379.	371.	327.
Cr	96.	100.	103.	95.	112.	88.	108.	102.	106.	96.
Ni	34.	32.	34.	32.	35.	29.	32.	27.	30.	28.
Rb	69.	65.	63.	71.	60.	63.	74.	67.	66.	66.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	61.	54.	56.	51.	56.	49.	51.	55.	48.	55.
Zr	130.	132.	157.	122.	181.	142.	179.	197.	194.	128.
Nb	26.	27.	26.	26.	29.	22.	24.	29.	29.	23.
Y	16.	16.	14.	14.	16.	14.	17.	18.	17.	12.
V	120.	126.	118.	120.	133.	97.	112.	132.	131.	111.

SUM = 100.86 100.45 100.25 100.74 100.31 101.72 100.59 100.65 100.45 100.65

[%]	JWS14	JWS15	JWS16	JWS17	JWS18	JWS19	JWS20	JWS1	JWS2	JWS3
SiO ₂	68.34	66.95	66.82	68.52	68.29	63.48	62.18	68.68	69.37	64.21
TiO ₂	1.21	1.37	1.37	1.23	1.25	1.34	1.39	1.10	1.21	1.49
Al ₂ O ₃	25.23	26.83	26.91	25.49	25.62	27.49	28.51	24.62	24.43	27.77
Fe ₂ O ₃	3.29	3.07	3.02	3.19	3.22	4.71	4.87	2.96	2.89	3.64
MnO	.02	.01	.02	.02	.02	.07	.03	.01	.02	.02
MgO	.40	.52	.51	.37	.39	.55	.58	.53	.51	.55
CaO	.52	.46	.45	.49	.47	.57	.57	.51	.49	.57
Na ₂ O	.02	.00	.00	.00	.00	.03	.02	.06	.01	.00
K ₂ O	1.31	1.03	1.06	1.12	1.13	1.21	1.20	1.21	1.41	1.23
P ₂ O ₅	.11	.05	.06	.19	.09	.23	.13	.09	.10	.23
GV =	5.3	1.1	1.0	5.7	6.0	2.2	1.6	1.7	2.0	2.1

[ppm]

Ba	368.	355.	359.	319.	351.	340.	315.	314.	368.	394.
Cr	104.	112.	102.	98.	100.	110.	108.	102.	98.	106.
Ni	34.	33.	29.	34.	35.	37.	33.	34.	30.	32.
Rb	67.	60.	59.	57.	56.	64.	64.	67.	68.	72.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	55.	53.	51.	53.	55.	65.	58.	51.	48.	55.
Zr	127.	173.	172.	147.	143.	119.	119.	136.	138.	159.
Nb	25.	29.	29.	26.	27.	28.	29.	23.	26.	31.
Y	12.	14.	15.	14.	14.	16.	15.	11.	13.	15.
V	111.	122.	124.	118.	119.	136.	137.	103.	111.	116.

SUM = 100.54 100.39 100.31 100.71 100.57 99.77 99.57 99.85 100.53 99.81

[%]	J4WO	J5WO	J6WO	J7WO	J8WO	J9WO	J10WO	J11WO	J12WO	J13WO
SiO ₂	70.87	73.88	77.28	73.73	75.43	75.53	74.53	71.24	73.31	69.01
TiO ₂	1.55	1.28	1.25	1.50	1.27	1.33	1.51	1.25	1.24	1.35
Al ₂ O ₃	23.08	19.89	18.34	19.44	19.17	17.72	19.81	22.74	21.29	25.11
Fe ₂ O ₃	3.12	2.67	2.70	2.71	2.52	2.82	2.41	3.05	2.70	3.19
MnO	.06	.03	.03	.02	.05	.01	.01	.07	.02	.04
MgO	.42	.29	.36	.41	.38	.43	.42	.46	.46	.47
CaO	.46	.39	.44	.43	.45	.38	.42	.51	.45	.53
Na ₂ O	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.05	.04	.00
K ₂ O	1.10	1.02	1.02	1.07	.98	1.18	1.05	1.34	1.43	1.05
P ₂ O ₅	.14	.12	.21	.14	.16	.09	.07	.09	.06	.09
GV =	2.2	5.7	1.7	1.1	1.4	2.1	1.9	1.6	1.2	1.6

[ppm]

Ba	351.	310.	329.	351.	337.	335.	340.	364.	386.	329.
Cr	109.	90.	91.	92.	89.	93.	96.	98.	91.	101.
Ni	29.	28.	23.	23.	24.	23.	24.	29.	32.	30.
Rb	62.	51.	51.	58.	53.	61.	57.	69.	71.	58.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	54.	53.	41.	42.	45.	46.	43.	52.	49.	50.
Zr	280.	258.	282.	322.	270.	343.	324.	189.	185.	175.
Nb	31.	26.	26.	30.	26.	25.	30.	26.	26.	30.
Y	22.	17.	19.	23.	19.	26.	23.	15.	17.	16.
V	128.	108.	93.	106.	90.	111.	100.	113.	103.	127.

SUM = 100.91 99.66 101.73 99.55 100.51 99.60 100.33 100.90 101.10 100.93

[%]	J14WH	J15WH	J16WH	J17WH	J18WH	J19WH	J20WH	J21WH	J22WH	J23WH
SiO ₂	67.27	68.16	66.13	64.79	64.57	65.16	77.07	77.21	72.49	76.31
TiO ₂	1.22	1.24	1.26	1.31	1.28	1.29	1.29	1.29	1.46	1.43
Al ₂ O ₃	26.13	25.68	26.63	27.63	26.86	26.33	19.54	19.44	20.65	19.83
Fe ₂ O ₃	3.22	3.06	3.37	3.44	4.33	4.26	2.61	2.54	2.79	2.79
MnO	.03	.03	.02	.01	.03	.02	.06	.02	.02	.01
MgO	.45	.44	.55	.54	.62	.63	.42	.48	.51	.48
CaO	.50	.49	.63	.64	.58	.60	.44	.43	.41	.41
Na ₂ O	.05	.04	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
K ₂ O	1.22	1.22	1.25	1.27	1.24	1.33	1.03	1.05	1.08	1.08
P ₂ O ₅	.12	.07	.05	.06	.23	.22	.08	.06	.06	.04
GV =	3.9	3.9	1.5	1.4	1.8	1.6	1.1	1.2	1.1	.8

[ppm]

Ba	302.	308.	332.	344.	347.	363.	315.	313.	343.	338.
Cr	105.	105.	114.	106.	109.	115.	92.	88.	92.	106.
Ni	33.	32.	33.	33.	35.	36.	26.	25.	27.	24.
Rb	64.	63.	67.	70.	67.	69.	55.	54.	60.	60.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	54.	51.	57.	55.	60.	59.	41.	45.	45.	55.
Zr	118.	135.	126.	122.	132.	139.	257.	262.	293.	293.
Nb	26.	29.	28.	28.	27.	27.	26.	26.	28.	30.
Y	13.	13.	12.	12.	15.	17.	19.	19.	21.	24.
V	122.	120.	116.	126.	128.	134.	88.	94.	109.	103.

SUM = 100.29 100.52 99.98 99.78 99.83 99.94 102.63 102.61 99.57 102.48

[%]	B1G	B2G	B3G	B4G	B5G	B6G	B7G	B8G	B9G	B10G
SiO ₂	68.55	71.50	67.89	69.31	68.18	70.64	68.21	62.65	62.73	69.67
TiO ₂	1.21	1.42	1.57	1.20	1.43	1.41	1.35	1.51	1.50	1.38
Al ₂ O ₃	23.65	21.50	24.45	22.51	23.93	22.15	24.33	28.05	27.56	23.20
Fe ₂ O ₃	3.59	3.28	3.45	4.21	3.10	3.18	2.90	3.66	3.59	3.69
MnO	.02	.02	.02	.03	.02	.02	.02	.02	.02	.02
MgO	.76	.52	.60	.73	.68	.50	.59	.71	.68	.63
CaO	.63	.45	.50	.57	.55	.61	.48	.67	.61	.49
Na ₂ O	.19	.15	.12	.23	.24	.16	.11	.12	.08	.15
K ₂ O	1.44	1.27	1.21	1.70	1.34	1.25	1.46	1.25	1.22	1.33
P ₂ O ₅	.07	.24	.07	.07	.13	.30	.07	.13	.17	.07
GV =	1.1	.7	.9	.9	1.3	3.3	.8	1.0	1.1	.4

[ppm]

Ba	323.	383.	385.	400.	365.	359.	376.	369.	374.	385.
Cr	122.	95.	93.	115.	99.	105.	104.	107.	106.	100.
Ni	28.	25.	28.	30.	29.	31.	24.	30.	30.	28.
Rb	97.	61.	61.	101.	67.	53.	71.	67.	64.	71.
Sr	52.	50.	54.	55.	53.	44.	52.	56.	52.	54.
Zn	50.	52.	57.	58.	58.	50.	51.	65.	64.	56.
Zr	223.	271.	236.	241.	201.	231.	244.	169.	165.	244.
Nb	26.	29.	29.	24.	28.	30.	26.	34.	33.	26.
Y	25.	26.	24.	25.	23.	23.	23.	20.	22.	26.
V	134.	145.	142.	129.	137.	141.	125.	161.	155.	150.

SUM = 100.22 100.46 99.99 100.68 99.71 100.33 99.63 98.88 98.27 100.74

[%]	B11G	B12G	B13G	B14G	B15G	B16G	B17G	B18GH	B19G	B20GH
SiO ₂	64.27	66.58	68.16	68.63	69.78	67.47	61.65	68.79	72.62	65.43
TiO ₂	1.41	1.45	1.36	1.34	1.45	1.44	1.45	1.39	1.28	1.34
Al ₂ O ₃	27.59	25.27	25.12	22.87	21.65	24.51	29.13	24.91	20.79	27.52
Fe ₂ O ₃	3.52	3.53	3.46	3.37	2.91	3.35	3.53	3.37	2.92	3.64
MnO	.02	.02	.02	.02	.01	.02	.01	.02	.03	.02
MgO	.67	.63	.71	.74	.48	.74	.69	.61	.61	.65
CaO	.68	.60	.55	.50	.51	.47	.63	.55	.53	.64
Na ₂ O	.10	.13	.14	.14	.08	.26	.10	.19	.34	.17
K ₂ O	1.50	1.53	1.59	1.66	1.20	1.55	1.23	1.21	1.30	1.32
P ₂ O ₅	.15	.07	.08	.08	.18	.07	.22	.06	.09	.08
GV =	1.1	.9	1.3	1.3	.9	.8	1.2	.7	.7	.9

[ppm]

Ba	499.	417.	424.	429.	348.	413.	393.	338.	358.	358.
Cr	106.	105.	103.	103.	90.	103.	104.	97.	86.	95.
Ni	34.	29.	31.	31.	25.	30.	44.	26.	26.	29.
Rb	76.	78.	81.	84.	57.	77.	62.	62.	60.	66.
Sr	63.	61.	66.	62.	50.	60.	55.	52.	55.	57.
Zn	67.	62.	65.	62.	58.	62.	62.	52.	56.	62.
Zr	212.	229.	237.	270.	274.	230.	161.	200.	246.	178.
Nb	29.	27.	28.	27.	31.	28.	33.	30.	24.	29.
Y	22.	28.	26.	26.	26.	26.	21.	24.	29.	23.
V	147.	140.	137.	130.	130.	142.	152.	145.	116.	134.

SUM = 100.04 99.93 101.31 99.47 98.36 100.00 98.75 101.20 100.62 100.91

[%]	B21G	B22G	B23G	B24G	B25G	BG 27	B1AH	B2AH	B3AH	B4AH
SiO ₂	80.04	78.89	69.10	72.65	79.15	72.35	73.78	72.89	66.88	73.02
TiO ₂	1.19	1.11	.87	.97	1.28	1.41	.96	.84	1.16	1.22
Al ₂ O ₃	13.01	14.00	19.14	14.67	13.40	21.86	17.35	17.71	20.81	20.14
Fe ₂ O ₃	3.70	4.22	7.12	5.76	3.59	2.88	5.47	6.45	3.88	3.31
MnO	.01	.02	.02	.08	.01	.02	.03	.03	.02	.02
MgO	.58	.57	.70	1.56	.62	.61	.84	.85	1.17	.61
CaO	.50	.45	.55	.76	.53	.54	.58	.61	.68	.54
Na ₂ O	.08	.15	.17	.73	.08	.03	.20	.20	.22	.20
K ₂ O	.80	1.17	1.60	2.59	.91	1.49	1.51	1.55	3.45	1.25
P ₂ O ₅	.63	.88	.95	.21	.36	.08	.09	.06	.16	.08
GV =	1.9	4.5	3.3	.8	.8	1.4	.5	.1	1.9	.6

[ppm]

Ba	280.	324.	397.	465.	308.	411.	332.	311.	644.	323.
Cr	89.	96.	104.	102.	90.	103.	101.	106.	129.	90.
Ni	16.	19.	44.	49.	18.	31.	32.	30.	28.	23.
Rb	49.	57.	100.	131.	57.	84.	94.	97.	167.	60.
Sr	42.	44.	43.	85.	46.	n.b.	45.	43.	71.	48.
Zn	41.	39.	65.	102.	52.	59.	58.	58.	58.	50.
Zr	292.	248.	187.	330.	284.	296.	212.	206.	207.	216.
Nb	26.	22.	17.	19.	25.	27.	20.	19.	23.	25.
Y	30.	26.	25.	44.	28.	24.	28.	23.	25.	24.
V	128.	129.	114.	120.	131.	112.	124.	121.	157.	114.

SUM = 100.64 101.56 100.33 100.12 100.03 101.38 100.91 101.29 98.58 100.49

[%]	B4AW	B5A	B6A	B7A	B8A	B9A	B10A	B11A	B12A	B13A
SiO ₂	65.05	76.24	75.94	78.17	73.42	74.01	73.80	73.44	69.42	63.67
TiO ₂	1.40	1.03	1.01	1.02	.93	1.03	.98	1.01	.97	1.53
Al ₂ O ₃	26.59	15.81	15.23	14.88	17.00	16.33	15.62	17.00	17.79	28.02
Fe ₂ O ₃	3.63	4.76	4.80	4.34	5.74	4.78	4.91	5.70	5.28	3.54
MnO	.01	.03	.03	.02	.03	.03	.02	.04	.04	.02
MgO	.67	.73	.73	.68	.84	.97	.72	.75	1.34	.67
CaO	.75	.62	.59	.49	.48	.65	.60	.61	.68	.66
Na ₂ O	.03	.11	.11	.15	.16	.16	.14	.14	.30	.13
K ₂ O	1.33	1.23	1.22	1.18	1.75	1.97	1.21	1.39	2.65	1.33
P ₂ O ₅	.29	.23	.16	.07	.07	.23	.14	.17	.34	.14
GV =	1.3	1.1	.8	.7	.2	1.3	.8	1.0	1.4	1.0

[ppm]

Ba	356.	307.	294.	276.	419.	422.	280.	331.	515.	372.
Cr	106.	101.	94.	92.	100.	105.	98.	108.	109.	103.
Ni	29.	24.	28.	22.	32.	25.	26.	28.	38.	29.
Rb	70.	76.	75.	73.	100.	111.	77.	91.	145.	65.
Sr	64.	46.	44.	42.	57.	57.	43.	44.	70.	57.
Zn	58.	50.	52.	50.	55.	61.	54.	57.	91.	59.
Zr	162.	231.	227.	244.	226.	237.	226.	215.	240.	151.
Nb	32.	21.	22.	22.	20.	20.	21.	22.	22.	31.
Y	21.	29.	27.	24.	28.	27.	28.	25.	29.	21.
V	130.	124.	121.	115.	121.	132.	116.	128.	130.	132.

SUM = 99.85 100.89 99.92 101.10 100.54 100.28 98.24 100.35 98.95 99.81

[%]	B14A	B15A	B16A	B17A	B18A	B19A	B20A	BB1	BB2	BB3
SiO ₂	67.52	60.22	75.36	75.95	73.29	72.55	70.41	69.75	65.05	75.38
TiO ₂	.96	1.08	.97	.96	1.00	1.01	.93	1.36	1.30	1.02
Al ₂ O ₃	16.19	21.11	16.62	15.70	16.98	16.06	18.85	21.79	24.65	15.09
Fe ₂ O ₃	4.41	3.75	5.84	5.20	5.71	5.18	6.05	3.63	3.21	4.79
MnO	.02	.02	.03	.03	.04	.06	.03	.02	.02	.03
MgO	.90	1.20	.81	.73	.74	1.33	.86	.73	.67	.76
CaO	.63	.84	.66	.54	.65	.64	.67	.64	.57	.58
Na ₂ O	.13	.25	.10	.14	.17	.37	.29	.14	.21	.12
K ₂ O	1.71	3.68	1.36	1.31	1.33	2.36	2.02	1.18	1.49	1.18
P ₂ O ₅	.32	.42	.13	.12	.15	.35	.26	.13	.11	.23
GV =	1.8	2.3	.9	.7	.9	.7	1.4	.9	.6	.8

[ppm]

Ba	364.	689.	313.	278.	311.	468.	392.	331.	393.	312.
Cr	102.	125.	109.	96.	108.	106.	100.	106.	92.	104.
Ni	25.	29.	26.	31.	29.	41.	37.	24.	33.	23.
Rb	97.	186.	87.	83.	87.	126.	118.	71.	76.	71.
Sr	48.	79.	44.	42.	43.	67.	49.	53.	58.	42.
Zn	57.	62.	55.	58.	54.	82.	73.	56.	70.	50.
Zr	224.	206.	213.	224.	210.	236.	197.	212.	242.	226.
Nb	23.	23.	21.	19.	21.	20.	18.	27.	26.	22.
Y	25.	25.	23.	27.	25.	31.	31.	25.	44.	28.
V	120.	148.	128.	117.	123.	130.	126.	124.	127.	120.
SUM =	92.90	92.73	101.98	100.78	100.16	100.04	100.48	99.47	97.40	99.28

[%]	BB4	BB5	BB6	BB7	BB8	BB9	BB10	BB11	BB12M	HB1
SiO ₂	75.83	77.27	74.92	68.55	70.85	66.90	74.11	74.66	72.93	75.30
TiO ₂	1.16	1.06	1.05	.91	1.04	1.21	.94	1.03	.96	.89
Al ₂ O ₃	15.36	16.06	16.20	15.35	13.12	21.64	17.08	15.46	16.33	14.81
Fe ₂ O ₃	4.07	5.13	4.96	4.93	3.53	3.73	6.05	4.71	5.30	5.70
MnO	.02	.02	.03	.04	.03	.02	.03	.04	.03	.03
MgO	.90	.65	.78	.75	.69	1.27	.70	.75	.78	.83
CaO	.53	.42	.59	.62	.59	.74	.58	.56	.62	.52
Na ₂ O	.27	.13	.13	.23	.21	.31	.12	.13	.15	.17
K ₂ O	1.87	1.19	1.14	1.71	1.25	3.74	1.44	1.05	1.43	1.57
P ₂ O ₅	.07	.04	.07	.57	.13	.28	.06	.07	1.19	.14
GV =	1.2	.1	.3	99.9	1.5	1.4	1.1	.3	1.5	.7

[ppm]

Ba	385.	264.	288.	378.	279.	721.	292.	274.	304.	287.
Cr	99.	94.	115.	94.	92.	134.	104.	105.	103.	92.
Ni	25.	29.	24.	23.	26.	28.	28.	22.	30.	31.
Rb	101.	78.	76.	95.	73.	184.	94.	71.	86.	96.
Sr	49.	41.	39.	55.	40.	76.	42.	45.	45.	46.
Zn	58.	51.	50.	57.	48.	59.	58.	51.	59.	68.
Zr	262.	258.	239.	209.	264.	220.	206.	228.	213.	217.
Nb	22.	20.	22.	19.	25.	23.	18.	22.	22.	18.
Y	28.	26.	27.	30.	26.	28.	23.	27.	27.	26.
V	134.	123.	127.	116.	117.	164.	120.	122.	121.	113.

SUM = 100.20 102.07 99.97 93.77 91.54 100.00 101.21 98.56 99.82 100.06

[%]	HB2	HB3	HB4	HB5	HB6	HB7	HB8	HB9	HB10	BZ62H
SiO ₂	70.53	73.55	74.47	75.87	75.99	70.48	74.63	75.92	74.11	71.72
TiO ₂	.93	1.01	.97	1.09	1.02	.92	1.03	1.02	.91	1.12
Al ₂ O ₃	18.25	15.32	16.60	16.10	15.38	18.55	16.30	15.29	15.80	19.13
Fe ₂ O ₃	6.37	4.65	5.17	4.88	4.80	6.55	4.82	4.82	5.79	4.81
MnO	.04	.04	.03	.04	.04	.03	.02	.03	.04	.05
MgO	.88	.76	.76	.73	.73	.84	.74	.74	.86	.80
CaO	.72	.58	.58	.57	.69	.59	.56	.64	.56	.60
Na ₂ O	.25	.08	.19	.07	.13	.18	.13	.13	.16	.28
K ₂ O	2.19	1.11	1.25	1.06	1.26	1.92	1.22	1.29	1.54	1.39
P ₂ O ₅	.12	.11	.06	.06	.15	.23	.11	.15	.11	.07
GV =	2.6	1.1	.5	.5	1.2	2.8	.8	1.1	.8	.4

[ppm]

Ba	311.	285.	300.	289.	286.	332.	302.	303.	303.	351.
Cr	109.	102.	103.	110.	103.	110.	116.	99.	94.	106.
Ni	41.	26.	29.	23.	24.	44.	26.	26.	35.	27.
Rb	117.	71.	84.	71.	81.	114.	76.	79.	98.	84.
Sr	41.	46.	50.	42.	44.	40.	43.	49.	42.	52.
Zn	65.	49.	55.	50.	55.	61.	51.	55.	67.	57.
Zr	199.	231.	218.	234.	230.	212.	229.	235.	227.	241.
Nb	20.	23.	22.	22.	21.	20.	22.	22.	19.	22.
Y	26.	28.	27.	29.	28.	28.	28.	27.	28.	29.
V	120.	119.	119.	128.	122.	121.	128.	119.	112.	122.

SUM = 100.38 97.31 100.18 100.57 100.29 100.40 99.66 100.13 99.98 100.08

[%]	BA1	BA2	BA3	BA4	BA5	BA6	BA7	BA8	BA9	BA10
SiO ₂	62.77	71.09	70.32	78.05	74.98	79.41	71.96	73.81	66.27	72.45
TiO ₂	1.16	.89	.91	1.08	1.12	1.17	.97	1.03	.86	.91
Al ₂ O ₃	19.99	16.63	16.21	15.49	15.64	13.67	15.97	15.73	14.57	17.48
Fe ₂ O ₃	3.35	5.65	5.62	4.02	4.59	3.53	4.82	4.64	4.83	5.92
MnO	.02	.03	.04	.03	.04	.03	.03	.03	.05	.03
MgO	1.20	.77	.98	.79	.75	.67	.78	.79	.95	.79
CaO	.73	.81	.60	.56	.58	.57	.92	.61	.58	.75
Na ₂ O	.25	.29	.27	.21	.14	.19	.20	.13	.32	.22
K ₂ O	3.62	1.78	1.99	1.34	1.03	1.03	1.81	1.18	2.43	1.50
P ₂ O ₅	.05	.42	.10	.06	.05	.04	.10	.07	.10	.06
GV =	2.1	2.5	1.0	.8	.7	.7	3.0	.6	2.5	1.1

[ppm]

Ba	649.	348.	364.	324.	271.	278.	284.	271.	381.	298.
Cr	125.	99.	95.	107.	104.	88.	99.	93.	85.	102.
Ni	26.	32.	28.	28.	22.	17.	27.	26.	30.	33.
Rb	177.	94.	113.	78.	69.	65.	90.	78.	127.	101.
Sr	72.	50.	51.	51.	42.	46.	44.	45.	60.	47.
Zn	59.	57.	71.	53.	48.	44.	51.	55.	74.	64.
Zr	221.	209.	221.	234.	225.	264.	215.	234.	230.	205.
Nb	24.	22.	19.	21.	23.	24.	22.	23.	20.	18.
Y	24.	26.	21.	27.	27.	25.	21.	29.	26.	26.
V	155.	112.	119.	121.	123.	123.	117.	116.	101.	118.

SUM = 93.29 98.46 97.15 101.73 99.02 100.41 97.66 98.12 91.07 100.21

[%]	BA11	BA12	BA13	BA14	BA15	BC1	BC2	BC3	BC4	BC5
SiO ₂	64.97	73.60	68.81	71.47	71.19	73.97	75.44	73.81	72.08	76.82
TiO ₂	1.40	1.36	1.13	1.26	1.16	.96	.97	1.01	1.12	1.07
Al ₂ O ₃	27.39	20.26	19.63	20.94	20.18	16.02	15.05	16.93	16.83	14.61
Fe ₂ O ₃	3.51	3.43	3.89	3.53	3.86	5.48	5.26	4.68	5.33	4.83
MnO	.01	.01	.02	.02	.02	.02	.03	.03	.03	.02
MgO	.59	.63	.73	.72	.81	.78	.77	.92	1.12	.61
CaO	.67	.66	.71	.61	.66	.68	.55	.59	.50	.59
Na ₂ O	.16	.22	.13	.10	.30	.18	.16	.12	.24	.20
K ₂ O	1.35	1.10	1.17	1.14	1.51	1.29	1.32	1.66	2.05	1.52
P ₂ O ₅	.11	.05	.09	.10	.13	.24	.14	.08	.09	.63
GV =	1.1	1.4	1.1	.9	1.3	1.3	.4	1.0	.3	2.0

[ppm]

Ba	355.	307.	295.	330.	332.	316.	295.	360.	413.	379.
Cr	100.	102.	97.	109.	97.	105.	102.	108.	111.	93.
Ni	27.	20.	23.	24.	24.	23.	29.	25.	35.	21.
Rb	68.	61.	71.	67.	82.	81.	83.	99.	119.	78.
Sr	52.	46.	50.	53.	49.	46.	41.	53.	53.	42.
Zn	55.	52.	56.	54.	63.	53.	57.	58.	64.	45.
Zr	164.	225.	214.	207.	235.	215.	228.	216.	246.	245.
Nb	30.	27.	26.	28.	26.	21.	20.	19.	21.	21.
Y	18.	22.	25.	25.	24.	24.	28.	27.	29.	26.
V	138.	127.	112.	128.	120.	126.	122.	122.	132.	130.
SUM =	100.26	101.42	96.41	99.99	99.93	99.72	99.79	99.94	99.51	101.01

[%]	BC6	BC7	BC8	BC9	BC10	HC1	HC2M	HC3	HC4	HC5
SiO ₂	72.81	69.76	77.21	73.49	74.40	77.06	75.70	71.95	70.38	71.87
TiO ₂	.96	.95	1.12	.97	.98	1.29	1.05	.91	.97	.92
Al ₂ O ₃	16.55	15.89	14.25	14.47	14.21	12.32	15.86	17.02	17.06	16.87
Fe ₂ O ₃	6.23	5.49	3.82	4.66	4.84	2.64	4.55	5.77	5.02	6.09
MnO	.03	.04	.02	.03	.03	.01	.03	.04	.04	.04
MgO	.73	.77	.68	.70	.76	.43	.77	1.06	1.18	1.15
CaO	.69	.62	.57	.62	.51	.56	.55	.56	.62	.56
Na ₂ O	.17	.16	.14	.15	.11	.10	.16	.23	.28	.22
K ₂ O	1.69	1.38	1.28	1.23	1.38	1.69	1.52	2.02	2.61	2.02
P ₂ O ₅	.52	.25	.23	.28	.11	.55	.08	.23	.20	.10
GV =	2.5	1.5	1.8	1.3	.9	3.5	.8	1.1	1.7	.8

[ppm]

Ba	423.	324.	315.	305.	312.	335.	358.	426.	499.	391.
Cr	104.	105.	101.	99.	92.	83.	104.	107.	110.	105.
Ni	33.	27.	21.	28.	26.	13.	24.	32.	31.	32.
Rb	97.	90.	68.	79.	83.	62.	92.	121.	142.	121.
Sr	45.	47.	41.	47.	45.	41.	49.	57.	64.	57.
Zn	54.	57.	43.	51.	53.	30.	54.	68.	68.	69.
Zr	207.	236.	255.	238.	273.	278.	236.	207.	227.	202.
Nb	20.	22.	24.	22.	21.	30.	22.	19.	20.	18.
Y	27.	28.	28.	29.	26.	26.	27.	26.	26.	25.
V	123.	117.	127.	117.	116.	123.	127.	123.	130.	124.
SUM =	100.49	95.42	99.42	96.70	97.43	96.75	100.38	99.91	98.49	99.95

[%]	HC6	HC7	HC8	HC9	HC10	OZ 1	OZ 2	OZ 3	OZ 4	OZ 5
SiO ₂	73.69	74.99	73.28	71.64	71.05	69.90	68.91	72.39	79.78	71.55
TiO ₂	.97	1.05	.94	.94	1.01	1.10	1.34	1.52	1.29	1.33
Al ₂ O ₃	17.38	15.46	16.41	18.03	18.23	23.75	23.70	22.50	17.09	22.45
Fe ₂ O ₃	5.99	4.79	5.43	4.71	4.80	3.37	3.30	2.97	2.75	3.43
MnO	.03	.04	.03	.03	.03	.02	.03	.03	.02	.02
MgO	.74	.78	.78	1.14	1.18	.53	.58	.48	.38	.52
CaO	.58	.55	.58	.63	.62	.59	.53	.39	.44	.56
Na ₂ O	.20	.11	.15	.27	.37	.08	.00	.00	.02	.00
K ₂ O	1.63	1.08	1.31	2.46	2.49	1.24	1.28	1.16	1.11	1.27
P ₂ O ₅	.14	.06	.07	.16	.08	.12	.07	.07	.43	.09
GV =	2.1	.1	.4	1.7	1.4	1.1	1.1	.8	4.6	1.0

[ppm]

Ba	332.	286.	297.	483.	488.	299.	366.	388.	444.	342.
Cr	109.	104.	99.	101.	110.	93.	99.	98.	88.	100.
Ni	34.	24.	29.	30.	27.	29.	29.	29.	24.	28.
Rb	96.	74.	86.	132.	133.	67.	71.	62.	56.	71.
Sr	41.	43.	48.	68.	63.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	56.	50.	54.	67.	67.	81.	50.	47.	43.	53.
Zr	206.	229.	209.	221.	216.	120.	204.	258.	312.	195.
Nb	20.	22.	22.	20.	18.	24.	27.	31.	26.	28.
Y	25.	28.	26.	25.	26.	13.	20.	22.	23.	16.
V	125.	124.	117.	124.	126.	104.	122.	125.	105.	118.
SUM =	101.45	99.01	99.08	100.14	99.99	100.78	99.84	101.62	103.42	101.32

[%]

	OZ 6	OZ 7	OZ 8	OZ 9	OZ 10	HUB1	HUB2	HUB3	HUB4	HUB5W
SiO ₂	69.64	69.86	76.07	74.15	69.49	78.86	72.56	64.82	64.30	66.69
TiO ₂	1.25	1.27	1.07	.94	1.29	1.34	1.39	1.27	1.25	1.10
Al ₂ O ₃	23.92	23.69	17.84	18.96	23.25	16.74	20.71	26.79	26.67	23.94
Fe ₂ O ₃	3.41	3.52	4.77	4.70	3.71	2.41	2.70	3.77	4.29	4.39
MnO	.03	.02	.02	.02	.02	.03	.02	.03	.02	.05
MgO	.49	.53	.72	.70	.62	.36	.46	.51	.53	.53
CaO	.59	.58	.62	.64	.64	.44	.54	.69	.67	.86
Na ₂ O	.06	.00	.00	.02	.07	.00	.00	.00	.03	.00
K ₂ O	1.35	1.35	1.16	1.46	1.50	1.16	1.18	1.24	1.28	1.29
P ₂ O ₅	.23	.11	.14	.09	.19	.17	.19	.32	.38	.73
GV =	2.8	.9	1.8	1.0	3.2	.8	2.9	1.9	2.2	2.5

[ppm]

Ba	356.	332.	318.	318.	359.	341.	332.	345.	314.	358.
Cr	100.	98.	116.	116.	112.	88.	99.	108.	109.	99.
Ni	31.	29.	29.	25.	27.	21.	24.	31.	31.	30.
Rb	70.	70.	77.	85.	72.	59.	62.	65.	64.	65.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	51.	54.	50.	50.	55.	38.	50.	53.	54.	63.
Zr	142.	147.	234.	221.	246.	364.	296.	142.	144.	146.
Nb	25.	29.	24.	20.	25.	29.	31.	30.	29.	27.
Y	13.	16.	20.	18.	20.	24.	22.	14.	14.	14.
V	120.	117.	110.	105.	127.	85.	103.	126.	128.	114.

SUM = 101.06 101.02 102.51 101.78 100.88 101.61 99.85 99.53 99.51 99.67

[%]	HUB5H	HUB6W	HUB6H	HUB7W	HUB7H	HUB8	HUB9	HUB10	HUB11	HUB12
SiO ₂	69.08	65.00	65.26	66.93	70.17	61.63	64.23	70.98	64.85	65.68
TiO ₂	.99	1.27	1.21	1.15	1.00	1.36	1.28	1.37	1.21	1.22
Al ₂ O ₃	22.35	26.43	25.24	24.11	21.89	28.50	27.03	22.23	25.82	25.36
Fe ₂ O ₃	3.52	4.00	3.71	3.40	3.02	3.94	3.61	2.46	4.06	3.32
MnO	.02	.03	.02	.02	.02	.02	.02	.02	.04	.02
MgO	.49	.53	.52	.49	.47	.45	.52	.38	.52	.45
CaO	.59	.66	.61	.59	.50	.74	.67	.58	.62	.64
Na ₂ O	.03	.00	.01	.03	.04	.02	.01	.02	.00	.05
K ₂ O	1.31	1.28	1.27	1.33	1.39	1.47	1.23	1.28	1.24	1.73
P ₂ O ₅	.28	.33	.24	.25	.12	.30	.31	.12	.27	.14
GV =	1.4	1.7	1.2	2.6	1.8	6.0	1.4	6.4	1.2	4.7
[ppm]										
Ba	392.	443.	307.	392.	365.	406.	469.	427.	443.	405.
Cr	93.	107.	107.	101.	96.	112.	110.	100.	104.	102.
Ni	25.	28.	31.	27.	25.	30.	28.	22.	28.	28.
Rb	65.	69.	68.	65.	67.	67.	63.	56.	66.	68.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	44.	52.	52.	39.	42.	49.	49.	37.	48.	41.
Zr	142.	158.	147.	155.	145.	140.	145.	295.	148.	152.
Nb	25.	31.	30.	29.	26.	34.	32.	33.	28.	30.
Y	13.	15.	15.	13.	14.	16.	14.	21.	15.	15.
V	96.	115.	119.	107.	91.	127.	122.	108.	110.	114.
SUM =	98.75	99.63	98.18	98.39	98.71	98.53	99.01	99.55	98.73	98.71

[%]	HUB13	HUB14	HUB15	HUB1W	HUB1H	HUB2H	HUB2W	HUB3	HUB4	HUB5
SiO ₂	66.41	67.51	62.20	64.84	71.61	76.90	72.52	61.95	62.76	64.15
TiO ₂	1.16	1.14	1.36	1.25	1.05	.94	1.05	1.34	1.34	1.28
Al ₂ O ₃	24.51	23.56	27.85	26.94	21.42	18.16	21.40	29.43	28.52	27.16
Fe ₂ O ₃	4.35	3.46	4.03	3.33	2.74	2.53	2.99	3.91	4.16	3.87
MnO	.03	.03	.02	.02	.02	.02	.02	.02	.02	.02
MgO	.53	.44	.40	.52	.42	.42	.47	.56	.57	.55
CaO	.64	.74	.73	.57	.47	.46	.53	.63	.64	.60
Na ₂ O	.00	.07	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
K ₂ O	1.27	1.58	1.48	.99	.99	.97	.96	.95	.95	1.01
P ₂ O ₅	.40	.66	.23	.06	.06	.05	.05	.11	.17	.09
GV =	1.6	5.4	6.0	.8	.7	.3	.1	1.2	1.4	1.1
[ppm]										
Ba	454.	438.	405.	289.	275.	241.	228.	283.	310.	307.
Cr	104.	98.	110.	107.	91.	82.	96.	110.	116.	106.
Ni	24.	28.	27.	29.	26.	22.	28.	37.	34.	36.
Rb	65.	67.	64.	60.	56.	53.	58.	59.	60.	62.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	46.	39.	41.	50.	41.	43.	48.	71.	64.	59.
Zr	156.	164.	150.	153.	194.	202.	191.	145.	168.	157.
Nb	29.	30.	35.	32.	26.	24.	26.	33.	33.	31.
Y	15.	15.	16.	14.	13.	14.	16.	17.	17.	16.
V	105.	100.	124.	119.	93.	83.	100.	116.	133.	112.
SUM =	99.40	99.29	98.41	98.61	98.86	100.53	100.07	98.99	99.22	98.82

[%]	HU06	HU07	HU08	HU09	HU010	HU011	HU012	HU013	HU014	HU015
SiO ₂	68.73	65.45	61.12	75.42	72.49	66.44	65.84	62.28	63.42	67.13
TiO ₂	1.15	1.24	1.37	.93	1.04	1.21	1.28	1.39	1.30	1.19
Al ₂ O ₃	23.51	26.42	29.45	17.52	19.31	25.83	26.52	29.34	28.67	24.40
Fe ₂ O ₃	3.83	3.86	4.30	2.59	3.05	3.69	3.76	3.75	3.66	4.08
MnO	.04	.02	.02	.03	.03	.02	.02	.02	.02	.02
MgO	.48	.50	.61	.28	.43	.41	.32	.52	.54	.45
CaO	.52	.61	.64	.34	.45	.56	.47	.62	.60	.58
Na ₂ O	.00	.01	.01	.00	.04	.00	.00	.00	.00	.00
K ₂ O	1.07	.99	1.09	.93	1.19	.95	.94	.94	.94	1.01
P ₂ O ₅	.16	.10	.10	.05	.09	.08	.11	.13	.10	.08
GV =	1.1	2.1	1.2	5.3	1.5	4.4	7.2	2.0	1.1	5.6

[ppm]

Ba	283.	279.	306.	287.	276.	259.	331.	277.	297.	333.
Cr	98.	107.	119.	83.	88.	105.	105.	113.	109.	119.
Ni	30.	34.	39.	24.	30.	34.	34.	34.	34.	29.
Rb	61.	60.	68.	51.	60.	56.	53.	59.	58.	60.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	65.	108.	67.	42.	64.	97.	76.	88.	70.	70.
Zr	181.	178.	154.	213.	253.	181.	180.	161.	144.	211.
Nb	27.	31.	33.	23.	23.	29.	31.	34.	31.	29.
Y	16.	17.	17.	13.	16.	20.	14.	17.	14.	16.
V	97.	116.	122.	83.	84.	119.	120.	129.	120.	123.
SUM =	99.58	99.29	98.80	98.17	98.21	99.28	99.35	99.08	99.34	99.04

[%]

SiO ₂	65.76	69.90	63.10	63.65	69.17	61.78	67.35	73.64	75.17	62.34
TiO ₂	1.36	1.20	1.25	1.26	1.10	1.26	1.43	1.28	1.01	1.25
Al ₂ O ₃	25.87	22.84	28.65	27.04	22.89	28.41	24.61	20.62	18.72	27.61
Fe ₂ O ₃	3.99	3.21	4.03	3.73	3.16	4.28	3.86	2.80	2.76	4.35
MnO	.05	.05	.02	.02	.02	.04	.02	.03	.05	.25
MgO	.53	.48	.62	.58	.49	.59	.39	.34	.44	.64
CaO	.52	.47	.59	.65	.56	.59	.47	.40	.42	.61
Na ₂ O	.00	.00	.03	.00	.00	.04	.00	.03	.08	.02
K ₂ O	1.12	1.17	1.41	1.02	1.03	1.39	1.13	1.18	1.29	1.34
P ₂ O ₅	.29	.11	.12	.06	.05	.15	.15	.24	.11	.14
GV =	1.1	.8	1.1	.1	.1	2.2	3.7	7.0	.9	1.6

[ppm]

Ba	427.	320.	334.	281.	267.	333.	376.	351.	273.	388.
Cr	106.	99.	119.	118.	99.	116.	109.	97.	85.	115.
Ni	31.	28.	32.	30.	28.	38.	30.	28.	26.	35.
Rb	66.	67.	74.	63.	60.	73.	61.	59.	66.	74.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	75.	69.	60.	53.	45.	160.	80.	72.	59.	70.
Zr	182.	180.	163.	162.	191.	160.	244.	255.	196.	182.
Nb	32.	28.	30.	30.	26.	31.	32.	29.	23.	30.
Y	19.	17.	15.	15.	14.	15.	21.	22.	15.	16.
V	134.	116.	127.	128.	107.	135.	138.	116.	86.	131.
SUM =	99.60	99.52	99.92	98.10	98.55	98.64	99.52	100.66	100.13	98.65

[%]	HUS8	HUS9	HUS10	HUS11	HUS12	HUS13	HUS14	HUS15	RP1	RP2H
SiO ₂	63.07	62.70	67.49	67.28	63.09	63.31	65.24	69.06	67.73	68.96
TiO ₂	1.23	1.25	.98	1.19	1.24	1.27	1.17	1.13	.91	.92
Al ₂ O ₃	27.91	28.05	22.42	23.98	26.97	25.96	24.94	22.97	23.98	23.66
Fe ₂ O ₃	3.77	5.08	5.33	4.01	4.01	4.72	4.10	3.88	2.99	3.54
MnO	.08	.04	.04	.05	.03	.15	.04	.02	.03	.03
MgO	.58	.61	.66	.82	.66	.67	.69	.56	.46	.57
CaO	.56	.57	.66	.60	.64	.59	.65	.58	.56	.65
Na ₂ O	.02	.05	.11	.02	.06	.04	.04	.03	.12	.13
K ₂ O	1.44	1.28	1.29	1.58	1.51	1.51	1.44	1.37	1.95	1.95
P ₂ O ₅	.16	.21	.20	.08	.09	.17	.12	.11	.08	.16
GV =	2.0	1.3	1.8	1.3	2.0	1.5	1.6	4.7	1.2	2.2
[ppm]										
Ba	358.	306.	308.	367.	371.	353.	358.	407.	415.	450.
Cr	117.	114.	108.	113.	119.	122.	120.	119.	101.	117.
Ni	35.	36.	31.	31.	36.	35.	33.	30.	40.	46.
Rb	75.	75.	68.	71.	80.	78.	79.	69.	108.	116.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	106.	77.	66.	84.	160.	70.	94.	56.	92.	129.
Zr	171.	163.	167.	233.	200.	242.	226.	259.	251.	178.
Nb	29.	30.	24.	27.	29.	29.	27.	26.	18.	19.
Y	17.	15.	17.	17.	15.	20.	19.	19.	24.	25.
V	133.	127.	113.	122.	129.	134.	124.	117.	80.	94.
SUM =	98.92	99.93	99.27	99.72	98.41	98.50	98.86	99.82	98.92	100.69

[%]	RP2W	RP3	RP4	RP5	RP6	RP7	RP8	RP9	RP10	T2
SiO ₂	68.66	67.22	62.61	63.47	64.77	68.75	64.46	63.65	66.14	63.20
TiO ₂	.92	1.08	1.20	1.15	1.06	1.02	1.05	1.21	1.02	.92
Al ₂ O ₃	23.54	23.63	28.57	26.65	24.85	22.48	27.70	26.05	24.31	20.27
Fe ₂ O ₃	3.47	3.93	3.55	4.17	4.05	3.64	4.03	4.85	4.07	7.81
MnO	.03	.03	.02	.03	.03	.03	.02	.03	.03	.07
MgO	.57	.68	.59	.73	.66	.60	.41	.74	.64	2.79
CaO	.64	.65	.53	.49	.74	.69	.41	.51	.52	.92
Na ₂ O	.12	.09	.00	.06	.13	.11	.09	.03	.06	1.01
K ₂ O	1.90	2.16	1.74	1.99	1.98	2.11	1.75	2.07	2.18	3.57
P ₂ O ₅	.17	.14	.07	.10	.21	.18	.09	.11	.11	.13
GV =	2.3	1.6	1.5	.3	2.7	2.4	1.4	1.3	.1	5.2

[ppm]

Ba	473.	512.	418.	464.	505.	444.	446.	516.	493.	651.
Cr	113.	122.	125.	136.	128.	114.	135.	134.	120.	128.
Ni	48.	48.	45.	55.	50.	43.	46.	55.	47.	57.
Rb	110.	124.	118.	124.	111.	113.	100.	127.	125.	184.
Sr	589.	590.	608.	704.	729.	609.	543.	585.	569.	105.
Zn	126.	133.	125.	153.	138.	121.	125.	156.	82.	123.
Zr	183.	281.	253.	252.	231.	272.	174.	292.	214.	177.
Nb	19.	21.	25.	22.	20.	21.	20.	22.	21.	16.
Y	26.	32.	33.	31.	30.	31.	27.	34.	26.	31.
V	93.	104.	105.	123.	108.	96.	134.	121.	108.	142.
SUM =	100.20	99.81	99.07	99.05	98.68	99.80	100.19	99.45	99.26	100.85

[%]	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T14	T15	T16	T18
SiO ₂	60.70	72.44	85.47	72.78	77.79	79.40	61.15	53.98	75.50	55.97
TiO ₂	.96	.77	1.25	1.07	1.24	1.18	1.48	1.59	1.50	1.57
Al ₂ O ₃	21.26	15.56	9.83	14.08	7.85	9.43	28.89	29.81	18.36	26.38
Fe ₂ O ₃	9.07	5.89	2.45	5.81	1.84	2.47	4.84	4.53	2.55	3.69
MnO	.09	.03	.03	.22	.03	.02	.03	.02	.02	.02
MgO	3.05	1.54	.62	1.22	.46	.61	.99	.80	.49	.67
CaO	.82	.78	.52	.47	.41	.55	.77	.65	.32	.53
Na ₂ O	.69	.75	.04	.67	.06	.08	.17	.10	.08	.11
K ₂ O	3.85	2.62	.87	2.38	.58	.66	1.74	1.53	1.29	1.58
P ₂ O ₅	.14	.07	.03	.09	.02	.02	.16	.10	.06	.09
GV =	5.7	4.2	3.2	5.4	2.9	3.8	10.2	10.6	6.2	9.7

[ppm]

Ba	672.	442.	176.	446.	131.	157.	386.	392.	359.	393.
Cr	138.	95.	69.	99.	59.	68.	113.	113.	83.	98.
Ni	70.	51.	21.	32.	16.	24.	35.	39.	18.	31.
Rb	218.	136.	52.	135.	39.	46.	100.	95.	53.	95.
Sr	97.	75.	33.	76.	26.	30.	67.	60.	51.	58.
Zn	140.	88.	60.	77.	47.	57.	73.	70.	48.	61.
Zr	161.	163.	398.	300.	451.	424.	138.	125.	339.	173.
Nb	20.	15.	20.	19.	22.	22.	32.	39.	28.	38.
Y	29.	34.	29.	30.	28.	28.	21.	21.	29.	23.
V	157.	110.	109.	132.	100.	101.	169.	179.	142.	165.
SUM =	100.80	100.57	101.21	98.92	90.37	94.52	100.33	93.22	100.28	90.72

[%]	8935	T9623	T9624	T9625	T9626	T9627	T9628	T9629	T9630	T9631
SiO ₂	57.33	72.37	46.10	61.39	53.12	76.27	68.22	61.24	48.58	50.74
TiO ₂	1.53	.74	.64	.80	.87	.94	.89	.69	.73	.77
Al ₂ O ₃	32.73	11.22	16.89	20.26	20.27	14.10	16.96	15.56	17.23	17.49
Fe ₂ O ₃	3.98	3.15	6.74	5.73	6.96	3.59	5.41	4.66	8.51	7.35
MnO	.01	.06	.31	.04	.08	.03	.04	.06	.17	.13
MgO	.68	2.30	10.48	3.51	4.47	1.30	2.11	3.66	6.43	7.63
CaO	.71	5.49	13.84	2.23	4.96	.83	.93	8.84	11.49	8.78
Na ₂ O	.03	1.81	.81	1.61	1.30	1.17	1.10	1.78	1.01	.89
K ₂ O	1.06	1.93	3.08	4.07	4.12	2.95	3.40	3.14	3.13	3.40
P ₂ O ₅	.06	.19	.13	.13	.15	.02	.08	.13	.22	.23
GV =	11.1	6.7	19.5	5.8	8.7	3.2	4.1	10.6	15.0	14.7

[ppm]

Ba	371.	295.	798.	752.	744.	530.	576.	566.	624.	607.
Cr	117.	57.	116.	108.	122.	76.	107.	91.	100.	111.
Ni	33.	27.	55.	53.	59.	29.	51.	46.	51.	56.
Rb	64.	80.	138.	180.	186.	137.	164.	131.	133.	149.
Sr	62.	n.b.	331.	165.	184.	132.	157.	169.	199.	255.
Zn	57.	57.	103.	118.	125.	76.	103.	88.	105.	113.
Zr	89.	227.	158.	163.	186.	269.	224.	172.	159.	163.
Nb	35.	14.	14.	17.	18.	19.	19.	15.	16.	16.
Y	15.	26.	34.	25.	35.	25.	30.	34.	39.	39.
V	168.	60.	119.	137.	143.	115.	132.	108.	122.	133.
SUM =	98.22	99.34	99.21	99.94	96.48	101.34	99.30	99.90	97.65	97.57

[%]	T9632	T9633	T9634	T9635	T9636	T9637	T9638	T9639	T9640	T9641
SiO ₂	47.94	64.89	49.80	60.48	60.94	60.18	60.92	55.92	65.85	62.41
TiO ₂	.78	.77	.80	1.01	.98	1.11	1.20	1.49	1.68	1.69
Al ₂ O ₃	18.52	15.83	18.42	21.40	22.83	27.02	26.94	30.49	26.07	29.97
Fe ₂ O ₃	6.21	4.57	9.63	6.93	6.95	5.38	5.25	4.00	3.83	4.66
MnO	.13	.05	.15	.06	.04	.02	.02	.01	.01	.01
MgO	8.51	3.99	5.92	3.19	3.00	1.95	1.68	1.03	.63	.58
CaO	10.16	4.78	7.47	2.04	1.42	.85	.87	.69	.51	.55
Na ₂ O	.65	1.62	.45	.75	.35	.14	.16	.07	.06	.08
K ₂ O	3.69	3.05	3.67	3.52	3.62	2.48	2.96	1.67	1.31	1.17
P ₂ O ₅	.14	.15	.31	.44	.45	.06	.06	.07	.08	.08
GV =	15.8	7.8	13.5	6.8	6.6	8.4	7.7	10.7	8.7	10.1

[ppm]

Ba	608.	528.	611.	635.	622.	496.	538.	439.	433.	391.
Cr	117.	90.	126.	132.	145.	150.	143.	126.	106.	110.
Ni	61.	45.	63.	56.	70.	57.	54.	47.	30.	32.
Rb	166.	126.	161.	181.	207.	151.	159.	107.	75.	74.
Sr	228.	236.	148.	114.	110.	87.	88.	76.	65.	65.
Zn	132.	95.	126.	134.	171.	109.	101.	80.	58.	61.
Zr	139.	188.	137.	194.	135.	99.	147.	106.	212.	157.
Nb	18.	16.	18.	19.	21.	24.	24.	36.	37.	35.
Y	38.	25.	43.	34.	50.	24.	24.	20.	23.	20.
V	134.	110.	141.	142.	157.	150.	170.	165.	174.	181.
SUM =	96.89	99.85	96.78	99.98	100.75	99.32	100.20	95.56	100.15	101.31

[%]	T9642	T9643	T9644	T9645	T9646	T9647	TH 17	TH 18	TH 19	TH 20
SiO ₂	68.16	55.70	56.94	59.74	58.61	61.37	60.20	63.71	60.93	59.15
TiO ₂	1.67	1.46	1.58	1.67	1.61	1.73	.87	.94	.99	.93
Al ₂ O ₃	22.97	30.65	32.57	30.56	31.28	30.89	19.53	20.13	22.14	24.08
Fe ₂ O ₃	4.04	4.89	3.87	5.40	3.97	3.94	5.50	5.54	6.13	6.74
MnO	.01	.01	.01	.02	.01	.01	.09	.06	.05	.03
MgO	.51	1.09	.76	.70	.70	.65	4.62	4.32	3.93	3.08
CaO	.44	.79	.71	.62	.65	.60	5.29	2.90	2.17	.87
Na ₂ O	.07	.23	.08	.07	.06	.06	.84	.83	.62	.06
K ₂ O	1.24	1.47	1.23	1.28	1.17	1.24	3.50	3.51	3.69	3.30
P ₂ O ₅	.08	.08	.08	.11	.08	.09	.13	.13	.13	.07
GV =	8.3	11.2	11.3	10.3	10.7	10.2	9.6	7.6	7.4	7.6

[ppm]

Ba	405.	423.	418.	450.	402.	443.	627.	631.	630.	534.
Cr	95.	136.	118.	112.	108.	109.	121.	126.	140.	157.
Ni	26.	60.	44.	38.	36.	35.	520.	53.	60.	70.
Rb	66.	91.	71.	80.	73.	75.	156.	160.	175.	173.
Sr	65.	73.	71.	76.	69.	71.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	54.	86.	70.	68.	63.	61.	126.	125.	133.	142.
Zr	248.	94.	83.	115.	105.	131.	218.	216.	199.	133.
Nb	37.	33.	36.	36.	36.	38.	16.	18.	19.	18.
Y	24.	22.	18.	23.	20.	22.	33.	29.	32.	24.
V	176.	162.	166.	190.	169.	182.	107.	110.	137.	130.
SUM =	99.31	96.49	97.94	100.29	98.25	100.70	100.76	102.22	100.93	98.45

[%]	TH 21	TH 22	TH 35	TH 34	TH 33	TH 32	TH31a	TH31b	TH 30	TH 29
SiO ₂	60.03	58.97	53.95	56.39	55.56	58.42	57.82	57.53	79.85	64.04
TiO ₂	1.05	.98	1.66	1.70	1.70	1.74	1.73	1.69	1.52	1.68
Al ₂ O ₃	23.33	22.94	33.33	34.81	34.05	35.21	33.81	32.81	15.56	28.34
Fe ₂ O ₃	6.53	6.25	3.89	4.15	3.85	3.62	3.94	4.39	1.98	3.58
MnO	.04	.05	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01
MgO	2.68	4.84	.67	.62	.63	.61	.64	.63	.35	.60
CaO	.89	3.43	.66	.61	.61	.58	.59	.58	.31	.54
Na ₂ O	.12	.19	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
K ₂ O	3.35	3.59	1.02	1.02	1.08	1.09	1.11	1.13	.95	.99
P ₂ O ₅	.07	.11	.06	.07	.06	.06	.06	.06	.03	.05
GV =	7.2	9.8	11.6	11.7	11.5	11.6	11.5	11.1	5.2	9.7

[ppm]

Ba	597.	595.	363.	364.	387.	405.	395.	376.	345.	352.
Cr	156.	151.	119.	126.	126.	122.	128.	123.	84.	111.
Ni	75.	73.	37.	36.	35.	36.	37.	34.	18.	29.
Rb	179.	176.	66.	64.	69.	71.	72.	73.	51.	59.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	167.	137.	57.	56.	61.	53.	57.	57.	33.	49.
Zr	192.	184.	108.	110.	113.	117.	124.	123.	432.	200.
Nb	19.	20.	38.	39.	39.	40.	40.	39.	30.	36.
Y	37.	28.	13.	14.	16.	12.	15.	14.	25.	17.
V	134.	157.	145.	158.	160.	161.	161.	152.	112.	149.
SUM =	98.25	101.50	95.34	99.48	97.65	101.44	99.81	98.93	100.67	99.93

[%]	TH 28	TH 27	TH 26	III/3	T9897	T9898	T9900	THUB	J1ST	J2ST
SiO ₂	63.90	67.40	80.52	73.93	60.39	49.29	74.99	77.04	69.36	68.96
TiO ₂	1.68	1.59	1.33	.94	.93	.73	.71	1.01	1.54	1.53
Al ₂ O ₃	26.96	23.85	14.05	15.18	19.54	17.49	10.72	14.28	24.10	24.04
Fe ₂ O ₃	3.37	2.91	2.36	4.41	5.61	8.25	3.04	3.68	4.01	3.94
MnO	.01	.01	.01	.04	.06	.14	.06	.05	.03	.03
MgO	.58	.52	.32	1.29	4.82	9.18	2.08	1.00	.49	.49
CaO	.52	.45	.30	.65	3.79	10.71	4.00	.86	.51	.52
Na ₂ O	.00	.00	.00	.85	1.23	.53	1.73	.68	.00	.00
K ₂ O	1.08	1.09	.94	2.58	3.54	3.18	1.86	2.21	1.17	1.18
P ₂ O ₅	.04	.04	.03	.09	.15	.22	.16	.36	.22	.24
GV =	9.2	8.2	4.9	5.2	9.0	18.2	5.4	6.0	2.5	2.5

[ppm]

Ba	349.	350.	304.	456.	626.	537.	287.	460.	367.	360.
Cr	111.	100.	77.	100.	121.	114.	63.	109.	109.	123.
Ni	28.	25.	16.	44.	54.	55.	27.	38.	25.	33.
Rb	67.	71.	51.	128.	160.	143.	76.	127.	65.	69.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	580.	603.	
Zn	45.	50.	37.	80.	119.	115.	52.	135.	46.	49.
Zr	213.	278.	402.	284.	220.	146.	224.	380.	265.	277.
Nb	37.	35.	27.	17.	18.	15.	12.	21.	34.	33.
Y	18.	20.	19.	37.	32.	34.	23.	35.	23.	23.
V	145.	134.	99.	95.	115.	103.	52.	91.	118.	113.
SUM =	98.24	97.97	99.96	100.08	100.21	99.85	99.43	101.31	101.59	101.10

[%]	J3ST	J4ST	T93	T92	T39	T49	T42	T105	T106	T108
SiO ₂	68.44	69.46	61.85	63.29	70.11	76.29	63.21	65.15	61.95	72.31
TiO ₂	1.53	1.54	.89	1.55	1.50	.77	1.02	.93	.76	.88
Al ₂ O ₃	23.81	24.05	22.33	28.37	19.73	13.38	24.35	19.48	25.59	17.78
Fe ₂ O ₃	3.84	3.61	7.05	3.24	2.31	4.85	4.55	6.34	5.81	6.10
MnO	.03	.02	.03	.02	.04	.04	.05	.06	.02	.04
MgO	.48	.40	3.06	.55	.62	1.12	1.26	2.27	1.60	1.38
CaO	.52	.47	.90	.48	5.23	.46	1.37	.94	1.02	.46
Na ₂ O	.00	.00	.11	.00	.00	.60	.08	.76	.14	.85
K ₂ O	1.18	1.19	3.21	1.24	1.20	2.24	2.91	3.73	3.36	2.37
P ₂ O ₅	.23	.28	.08	.05	.05	.06	.41	.20	.13	.11
GV =	3.4	7.2	6.9	n.b.	10.0	4.0	8.4	4.9	9.1	5.0

[ppm]

Ba	352.	356.	569.	370.	350.	320.	609.	623.	794.	416.
Cr	109.	116.	153.	112.	91.	101.	136.	137.	152.	114.
Ni	29.	26.	73.	29.	26.	38.	42.	127.	48.	43.
Rb	66.	62.	164.	78.	67.	113.	182.	166.	207.	120.
Sr	608.	616.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zn	50.	53.	144.	50.	41.	62.	72.	225.	192.	81.
Zr	275.	276.	144.	201.	310.	306.	177.	252.	125.	297.
Nb	34.	35.	18.	36.	32.	17.	22.	18.	19.	16.
Y	23.	23.	27.	18.	31.	31.	31.	59.	22.	30.
V	126.	127.	127.	144.	117.	73.	121.	118.	117.	95.
SUM =	100.23	101.19	99.65	98.85	100.90	99.92	99.35	100.03	100.55	102.40

[%]	T114	T118	T177	T178	T179	T181	T182	V1B	V2B	V5B
SiO ₂	67.87	74.02	62.96	55.27	65.55	71.03	72.31	61.86	71.93	67.51
TiO ₂	.86	.84	.93	.73	.90	1.00	.88	1.09	1.24	1.47
Al ₂ O ₃	20.23	15.38	22.67	15.42	20.57	16.50	14.78	20.76	20.43	24.41
Fe ₂ O ₃	6.35	4.13	5.49	5.85	5.95	5.95	6.10	5.61	4.30	3.01
MnO	.03	.02	.03	.12	.03	.04	.04	.05	.03	.01
MgO	.98	.90	1.51	2.10	2.09	1.41	1.38	1.50	1.05	.55
CaO	.68	.83	.77	18.78	.65	.51	.46	.62	.57	.72
Na ₂ O	.12	.73	.12	.34	.20	.66	.85	.20	.20	.13
K ₂ O	1.90	2.45	3.39	2.48	3.72	2.68	2.37	2.45	1.93	1.18
P ₂ O ₅	.05	.07	.07	.25	.05	.10	.11	.11	.09	.17

GV = 7.8 4.2 6.7 16.1 5.9 5.6 5.9 1.0 1.1 1.6

[ppm]

Ba	343.	427.	581.	429.	624.	497.	416.	478.	443.	367.
Cr	139.	93.	166.	111.	159.	122.	114.	125.	102.	92.
Ni	30.	22.	48.	42.	55.	41.	43.	61.	34.	25.
Rb	113.	134.	204.	118.	189.	135.	120.	136.	104.	53.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	70.	65.	52.
Zn	48.	54.	92.	75.	139.	80.	81.	96.	86.	54.
Zr	225.	255.	184.	194.	212.	309.	297.	207.	278.	213.
Nb	19.	17.	19.	15.	18.	18.	16.	24.	24.	31.
Y	18.	23.	31.	30.	36.	30.	30.	37.	27.	21.
V	126.	81.	123.	82.	119.	113.	95.	139.	132.	144.

SUM = 99.18 99.48 98.08 101.45 99.87 100.01 99.40 94.39 101.90 99.27

[%]	V11B	V12B	V13B	V14B	V14	V15	V16	V17	V1C	V2C
SiO ₂	58.58	72.07	69.90	62.81	70.68	69.32	65.81	69.70	75.94	73.29
TiO ₂	1.33	1.01	1.42	1.42	1.43	1.39	1.42	1.23	1.10	1.23
Al ₂ O ₃	21.49	16.41	24.66	23.29	24.86	21.34	26.64	22.13	16.82	20.82
Fe ₂ O ₃	2.76	3.77	3.12	3.00	3.16	2.94	4.27	3.81	3.67	2.65
MnO	.01	.04	.01	.01	.01	.01	.02	.03	.03	.01
MgO	.52	1.37	.58	.53	.59	.48	.78	.71	.81	.42
CaO	.71	.77	.58	.65	.59	.51	.64	.91	.50	.43
Na ₂ O	.08	.70	.08	.09	.15	.10	.16	.11	.60	.13
K ₂ O	1.12	2.31	1.06	1.14	1.07	1.11	1.49	1.03	2.10	1.13
P ₂ O ₅	.16	.11	.06	.06	.06	.06	.06	.08	.23	.32

GV = 1.7 1.0 .9 .9 .7 .4 .6 3.5 3.7 3.7

[ppm]

Ba	366.	442.	328.	347.	328.	357.	393.	316.	463.	307.
Cr	85.	98.	94.	90.	94.	84.	108.	124.	88.	82.
Ni	27.	40.	27.	26.	26.	23.	28.	27.	35.	20.
Rb	53.	102.	48.	54.	49.	55.	80.	61.	82.	45.
Sr	50.	78.	50.	69.	55.	51.	62.	53.	56.	39.
Zn	55.	92.	52.	54.	53.	52.	68.	53.	67.	42.
Zr	223.	283.	205.	211.	207.	256.	185.	188.	274.	200.
Nb	33.	20.	31.	32.	28.	29.	31.	26.	21.	26.
Y	21.	36.	20.	22.	20.	24.	28.	23.	27.	19.
V	132.	114.	132.	125.	135.	128.	142.	122.	121.	126.

SUM = 86.86 98.69 101.57 93.10 102.70 97.37 101.40 99.84 101.92 100.52

[%]	V3C	V5C	V6CH	V7CH	V8C	V9C	V10C	V11C	V21	V22
SiO ₂	56.61	63.45	68.38	71.24	69.63	71.12	68.88	70.02	74.42	76.30
TiO ₂	1.55	1.02	.99	1.18	1.10	1.17	1.19	1.00	1.09	1.05
Al ₂ O ₃	32.64	21.59	19.34	20.36	21.28	20.38	22.66	18.23	17.32	16.62
Fe ₂ O ₃	3.84	5.67	5.16	4.44	3.93	4.30	3.42	5.36	3.73	4.01
MnO	.01	.05	.07	.03	.04	.03	.02	.04	.03	.03
MgO	.65	1.52	1.53	1.01	1.05	.97	.75	1.21	1.12	.88
CaO	.75	.59	.52	.54	.57	.55	.52	.55	.71	.54
Na ₂ O	.13	.17	.24	.17	.53	.17	.14	.26	.59	.63
K ₂ O	1.13	2.48	2.51	1.87	2.18	1.88	1.58	2.44	2.04	2.27
P ₂ O ₅	.13	.10	.10	.13	.11	.26	.07	.09	.15	.15
GV =	1.2	1.1	.1	1.3	1.0	1.2	.4	2.0	.5	2.2

[ppm]

Ba	356.	462.	476.	410.	480.	443.	348.	464.	421.	417.
Cr	109.	117.	116.	101.	102.	97.	93.	103.	95.	95.
Ni	32.	61.	64.	34.	39.	33.	32.	40.	36.	40.
Rb	57.	137.	124.	102.	98.	103.	71.	134.	94.	89.
Sr	58.	69.	71.	62.	68.	64.	53.	62.	72.	62.
Zn	65.	96.	90.	74.	82.	79.	60.	100.	74.	77.
Zr	98.	216.	191.	233.	195.	206.	207.	240.	274.	281.
Nb	35.	23.	21.	23.	21.	23.	25.	18.	20.	21.
Y	18.	37.	36.	28.	30.	29.	27.	31.	34.	32.
V	167.	135.	138.	128.	119.	120.	134.	124.	123.	119.
SUM =	97.54	96.78	98.97	101.09	100.54	100.95	99.33	99.33	101.32	102.60

[%]

	B1F	B2F	B3FH	B4F	B5F	B6F	B7F	B8F	B9F	B10FH
SiO ₂	72.49	74.10	71.94	74.96	76.81	73.22	72.71	75.59	71.08	74.14
TiO ₂	1.33	.96	1.25	1.34	1.28	.98	.97	.99	1.33	1.12
Al ₂ O ₃	19.28	16.84	19.89	19.09	16.49	15.91	15.07	16.96	21.82	16.53
Fe ₂ O ₃	3.31	5.85	3.76	2.71	2.98	6.06	5.80	5.16	3.39	5.18
MnO	.02	.02	.02	.05	.01	.09	.09	.04	.01	.03
MgO	.62	.58	.71	.55	.55	1.29	1.27	.72	.67	.98
CaO	.56	.48	.62	.39	.64	.56	.54	.53	.65	.56
Na ₂ O	.12	.19	.19	.10	.09	.69	.69	.13	.07	.14
K ₂ O	1.02	1.34	1.10	1.16	.85	2.26	2.35	1.15	.92	1.74
P ₂ O ₅	.05	.15	.07	.13	.30	.13	.14	.06	.05	.06
GV =	.7	3.9	.9	.9	2.3	.1	.1	1.7	n.b.	.8

[ppm]

Ba	303.	345.	316.	327.	377.	428.	428.	278.	297.	357.
Cr	100.	112.	95.	98.	88.	111.	102.	102.	104.	111.
Ni	19.	30.	23.	21.	17.	46.	44.	31.	23.	30.
Rb	63.	75.	61.	56.	47.	130.	125.	71.	57.	107.
Sr	49.	40.	52.	49.	47.	70.	74.	36.	48.	52.
Zn	48.	56.	54.	56.	43.	86.	83.	55.	51.	62.
Zr	230.	230.	204.	300.	254.	317.	292.	208.	199.	260.
Nb	28.	19.	28.	25.	28.	19.	18.	20.	30.	22.
Y	22.	26.	23.	25.	26.	40.	38.	25.	24.	30.
V	139.	119.	120.	120.	125.	119.	116.	125.	147.	139.

SUM = 98.90 100.62 99.65 100.59 100.11 101.33 99.76 101.43 100.09 100.60

[%]	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D1	D2
SiO ₂	75.68	71.59	70.12	76.04	72.06	71.54	70.64	69.60	64.24	69.16
TiO ₂	1.02	.97	1.30	1.31	1.22	1.39	1.33	1.20	1.08	1.26
Al ₂ O ₃	16.79	18.64	23.25	19.11	21.30	22.38	22.71	22.70	24.41	20.31
Fe ₂ O ₃	5.35	5.70	3.36	3.58	4.10	3.16	3.86	3.97	4.01	3.61
MnO	.02	.04	.03	.02	.03	.03	.03	.03	.04	.07
MgO	.74	.82	.70	.70	.72	.64	.64	.71	.87	.81
CaO	.49	.48	.65	.68	.67	.55	.68	.61	.75	.51
Na ₂ O	.00	.01	.04	.00	.08	.04	.01	.02	.35	.24
K ₂ O	1.64	1.75	1.36	1.02	1.30	1.48	1.16	1.60	1.78	1.74
P ₂ O ₅	.27	.05	.05	.07	.07	.11	.07	.06	.32	.22

GV = 1.2 .3 1.1 1.2 1.1 1.2 1.2 1.1 4.0 1.2

[ppm]

Ba	414.	412.	321.	334.	330.	428.	328.	369.	409.	463.
Cr	110.	112.	118.	113.	116.	105.	113.	120.	86.	88.
Ni	31.	34.	29.	25.	29.	32.	29.	32.	38.	31.
Rb	92.	107.	96.	71.	79.	84.	74.	108.	82.	90.
Sr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	56.	56.
Zn	59.	53.	47.	48.	56.	61.	53.	53.	77.	64.
Zr	235.	221.	250.	230.	221.	263.	223.	245.	103.	232.
Nb	21.	20.	27.	27.	25.	28.	28.	25.	n.b.	n.b.
Y	27.	24.	22.	23.	21.	25.	25.	22.	n.b.	n.b.
V	105.	103.	113.	101.	102.	110.	109.	101.	n.b.	n.b.

SUM = 102.11 100.16 100.96 102.63 101.65 101.43 101.23 100.61 97.94 98.03

[%]	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D4	D5	D6	D7
SiO ₂	66.15	65.58	75.35	68.71	69.30	71.54	72.08	72.47	71.43	66.97
TiO ₂	1.19	1.15	.96	.85	.96	.90	1.46	1.39	1.39	1.42
Al ₂ O ₃	24.59	26.01	16.53	20.27	19.91	18.20	21.48	20.12	20.81	24.43
Fe ₂ O ₃	3.86	4.44	4.79	5.68	5.36	6.29	2.92	2.48	2.58	3.14
MnO	.03	.04	.01	.04	.02	.05	.02	.02	.01	.01
MgO	.92	.88	.75	.96	1.10	1.27	.50	.58	.48	.55
CaO	.73	.69	.38	.69	.50	.53	.49	.58	.44	.68
Na ₂ O	.32	.29	.12	.48	.65	.53	.13	.20	.11	.15
K ₂ O	1.73	1.68	1.75	2.34	2.79	2.42	1.39	1.38	1.30	1.37
P ₂ O ₅	.43	.32	.19	.18	.18	.28	.06	.05	.04	.19

GV = 1.7 2.4 n.b. n.b. n.b. n.b. n.b. n.b. n.b. .0

[ppm]

Ba	587.	424.	335.	412.	425.	441.	369.	366.	358.	390.
Cr	91.	93.	97.	93.	101.	105.	85.	77.	77.	83.
Ni	34.	37.	26.	35.	32.	39.	16.	18.	18.	21.
Rb	88.	85.	85.	114.	120.	130.	66.	62.	63.	62.
Sr	70.	57.	45.	49.	51.	69.	43.	49.	47.	49.
Zn	80.	77.	53.	80.	75.	85.	47.	44.	46.	52.
Zr	140.	107.	271.	187.	201.	211.	290.	281.	272.	209.
Nb	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Y	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
V	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

SUM = 100.06 101.17 100.92 100.30 100.87 102.12 100.62 99.36 98.68 99.00

[%]	K8	H10	H20	H30	H1S	H2S	H3S	H10P	H11P	H12P
SiO ₂	73.52	66.44	73.24	69.54	68.21	73.24	69.33	69.47	69.25	71.52
TiO ₂	1.40	1.32	1.35	1.45	.93	1.03	.92	.95	.96	.97
Al ₂ O ₃	23.93	22.02	18.77	23.63	21.00	20.05	20.17	21.19	18.10	17.96
Fe ₂ O ₃	2.91	2.57	2.40	2.61	5.92	5.35	5.64	5.54	5.36	4.51
MnO	.01	.01	.01	.01	.04	.04	.04	.02	.03	.03
MgO	.50	.58	.47	.58	1.18	.85	1.05	1.17	1.13	.98
CaO	.65	.45	.40	.44	.61	.49	.65	.53	.62	.55
Na ₂ O	.29	.30	.18	.15	.33	.36	.37	.47	.83	.42
K ₂ O	1.16	1.44	1.85	1.57	2.34	1.94	2.24	2.13	2.93	1.93
P ₂ O ₅	.21	.05	.42	.05	.09	.18	.02	.07	.28	.06

GV = n.b. 1.1 2.2 .9 1.2 1.6 1.4 .3 2.3 .8

[ppm]

Ba	366.	354.	400.	384.	433.	381.	415.	427.	434.	451.
Cr	86.	84.	84.	93.	117.	118.	110.	106.	93.	97.
Ni	20.	23.	17.	27.	50.	29.	39.	30.	35.	28.
Rb	63.	69.	73.	75.	115.	100.	114.	118.	122.	102.
Sr	44.	54.	47.	51.	61.	52.	60.	59.	55.	51.
Zn	54.	51.	47.	52.	87.	58.	78.	73.	82.	71.
Zr	144.	235.	288.	233.	200.	226.	217.	168.	226.	186.
Nb	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Y	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
V	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

SUM = 104.66 95.27 99.19 100.12 100.76 103.63 100.53 101.64 99.59 99.03

[%]	H13P	H14P	H15P	H16P	H17P	H18P	H20P	GD1	GD2
SiO ₂	69.72	68.35	71.20	69.65	69.90	68.42	70.96	71.04	66.18
TiO ₂	.96	.98	.96	.99	.79	.98	1.00	1.20	1.33
Al ₂ O ₃	18.88	18.94	17.84	19.61	18.58	18.58	17.76	22.38	25.34
Fe ₂ O ₃	4.97	6.84	4.94	5.05	5.70	5.92	4.71	2.53	2.64
MnO	.02	.05	.03	.02	.02	.04	.03	.03	.02
MgO	1.07	1.37	.96	1.09	1.07	1.21	1.05	.67	.83
CaO	.62	.57	.53	.56	.52	.56	.52	.27	.36
Na ₂ O	.66	.46	.24	.57	.31	.56	.63	.02	.03
K ₂ O	2.44	2.79	2.64	2.15	2.30	2.79	2.81	1.77	1.73
P ₂ O ₅	.09	.22	.28	.11	.16	.22	.20	.14	.08

GV = 1.7 1.7 2.6 .6 .9 1.9 2.0 2.2 1.2

[ppm]

Ba	425.	496.	456.	415.	462.	453.	434.	379.	427.
Cr	93.	112.	106.	99.	96.	111.	99.	127.	142.
Ni	34.	42.	31.	30.	37.	38.	31.	31.	34.
Rb	113.	129.	105.	117.	121.	117.	114.	105.	101.
Sr	52.	63.	48.	62.	63.	610.	49.	564.	576.
Zn	84.	85.	61.	84.	77.	80.	83.	79.	63.
Zr	238.	224.	256.	207.	152.	253.	235.	268.	234.
Nb	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	26.	29.
Y	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	25.	25.
V	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	101.	119.

SUM = 99.53 100.69 99.73 99.90 99.45 99.45 99.77 100.22 98.72

Anhang III : Ergebnisse der Diffraktogrammauswertung

Qz - Quarz, **Ill** - Illit, **KF** - Kalifeldspat, **P** - Plagioklas, **Chl** - Chlorit,

Mo - Montmorillonit, **Häm** - Hämatit, **Sp** - Spinell, **CC** - Calcit

Kaol - Kaolinit, **Do** - Dolomit, **Crst** - Cristobalit, **Mul** - Mullit,

Br-T - vermutliche Brenntemperatur, **ML** - Mixed Layer

Pr.Nr. - Probennummer

XXX - sehr viel, **XX** - viel, **X** - wenig, **I** - sehr wenig, **+** - nachweisbar,

***** - möglich,

Kröninger Irdenware :

Pr.Nr	Qz	Ill	KF	P	ML	Mo	Häm	Sp	Crst	Mul	Br-T
K1A	XXX		I								950-
K6A	XXX	I	X								900+
K7A	XXX		X								950-
K8A	XXX		X					I			950-
K9A	XXX		I					I			950-
K3B	XXX	X	X	I	*			?			900+
K6B	XXX	XX	X		*						900
K7B	XXX	X	X	I	*						900+
K8B	XXX		X	I				?			950-
K10B	XXX	XX	X		*						900
K3C	XXX		XX								950-
K6C	XXX		I					I			950
K8C	XXX	X	X	I	*						900+
K10C	XXX		I		*			I			950-
K11C	XXX		XX								950-
K2D	XXX		X					I			950
K3D	XXX		XX		*	X		I			850
K4D	XXX		I	I	*			?			900+
K5D	XXX		XX		*						900+
K6D	XXX		XX		*						900+
K7D	XXX		I	I	*						900-
K8D	XXX	X?	X	I	*	X		I			850+
K9D	XXX			I	*	X		I			900-
K10D	XXX		X		*			?			950-
K1E	XXX	?	X		*	X		X			850
K2E	XXX	?	X		*			I			900
K3E	XXX		X		*	X		X			850-
K4E	XXX	+	I		*	?					850+
K5E	XXX	I?	X		*	X					850+
K6E	XXX	+	X		*						900-
K7E	XXX	?			*	X					900-
K8E	XXX	X	I		*	X					800+
K9E	XXX	X?			*	X		I			850+
K10E	XXX		X					X			950-
K13E	XXX		I	I	*	X		XX			950
J1S	XXX	X	X					X			850+
J2S	XXX	I	X								850-
J3S	XXX	X	X		*			X			850+
J4S	XXX	XX	XX								800

Pr-Nr	Qz	Ill	KF	P	ML	Mo	H m	Sp	Cret	Mul	Br-T
J5S	XXX	X	I		*			X			850
J6S	XXX		XI					X			950-
J7S	XXX	X	I	I				X			900
J8S	XXX	XX	XX		*						<800
J9S	XXX	X	XX		*						850
J10S	XXX		XX					X			950-
J3E	XXX	X	I		*			X			850
J4E	XXX	X	X		*						800+
J5E	XXX	X	I		*						850
J7E	XXX	X	I		*						850
J8E	XXX		I		*			I			950-
J9E	XXX	I	I		*			?			900-
J12E	XXX	I	I		*			?			900-
J13E	XXX	I	I		*						850+
J11E	XXX		X					X		X	1000
H5A	XXX	X	X	X							850
H6A	XXX	X	XX					I			900
H8A	XXX	I	XX	I				X			950
H9A	XXX	I	X	X							900+
H3B	XXX		X	I				X			950-
H5B	XXX	XI	X	X							900
H7B	XXX	XI	X	X	*						900
H10B	XXX	I	X	X							900+
H4C	XXX	XI	X	I				?			900+
H5C	XXX	X	XI	I				?			950-
H7C	XXX	X	XI					?			900+
H9C	XXX		XI		*						950-
H10C	XXX	X	X	I							900
JWS3	XXX	X	X	I		I					900-
JWS4	XXX		XI								950-
JWS5	XXX	X	XI			I					850
JWS10	XXX	XX	X					?			850
JWH12	XXX	XX	XI								850-
JWW13	XXX	XI	X			I	X				800+
JWH14	XXX	XI	X		*	?					800+
JWW15	XXX		X								950-
JWH18	XXX	X	X			I	I				900
JWW19	XXX	XX	X	I		I		?			900
J5WO	XXX	XX	I		*	?					800+
J11WO	XXX	XI	X	I	*	?					850
J15WH	XXX	XI	X	I	*						800+
J16WW	XXX	X	X	I	*						900
J17WH	XXX	I	XX		*						900+
J18WW	XXX	+	X		*						900
J21WH	XXX		X		*						950-
J23WH	XXX	I	I		*						950-
J19WH	XXX	X	X					I			900

Pr.Nr	Qz	Ill	KF	P	ML	Mo	H m	Spl	Crst	Mul	Br-T
HU01H	XXX		X			?	I			X	950
HU01W	XXX		I				I			X	950
HU04	XXX		I								950-
HU07	XXX		I			?		I H			900
HUS3W	XXX							X H	XX	XX	1000+
HUS4	XXX	X	X	I							850
HUS6	XXX	X	XX	I				I H			900+
HUS9	XXX	I	X	I				I H			950-
HUS10	XXX	X	X	X							900
HUB6W	XXX	X	X	I	*			I H			900
HUB6H	XXX	X	X					I H			900+
HUB9	XXX	X	XXX	X				I H			900+
HUB10	XXX	X	X	X							900-
HUB14	XXX	XX	X	XX							500+
BB5	XXX		I					I H			950-
BB1??	XXX		I					? H			900+
BB8	XXX		I	X	*	I					900
BB3	XXX	I									900
BB4	XXX	X	X		*						900
HB3	XXX	I	X	I							900+
HB10	XXX	I	X					? H			900-
HB7	XXX	XI	I	I	*						800+
HB6	XXX		X	I	*						900+
HB5	XXX		X	I							900+
BC6	XXX	X	I	I							900-
BC9	XXX	I	I								900-
B25G	XXX	I	I	I	*						900
B21G	XXX		I								900+
B15G	XXX	X	X								850+
B3G	XXX										950-
B10G	XXX								X	XX	1000+
B1G	XXX	I	X		*						900-
B2G	XXX		X							I	900+
B5G	XXX	XX	I		*						850
B8G	XXX		I		*						900+
B6G	XXX	XI	X		*						850
B7G	XXX		I								900+
B3A	XXX	XXX	I								800?
BB1	XXX	XXX	X								800?
BB9	XXX	XXX	I								800?
B15A	XXX	XXX	I								800?

Vergleichsproben :

Pr.Nr	Qz	Ill	KF	P	ML	Mo	Häm	Sp	Crst	Mul	Br-T
H10F	XXX	X	X								900
H11F	XXX	XXX	XXX								800
H12F	XXX	XX	X			*					800
H13F	XXX	XXX	X			*					800+
H14F	XXX	XXX	X	XX	*						<800
H15F	XXX	XXX	X								800+
H16F	XXX	X	X								850
H17F	XXX	X	X	XX							900
H18F	XXX	X	X								850
H19F	XXX	XXX	XX	X	*						800-
H20F	XXX	XXX	XX	X	*						800
H8	XXX	XX	XX		*						850+
K1	XXX	XX				X					850
K3	XXX				*	*		?			900
K4	XXX	XX	X		*	X					800
K5	XXX	?	X		*			?		?	950
K6	XXX	?	X		*	*					900+
K7	XXX	X	I		*	X					<800
K8	XXX	X	I		*	*					850
H1	XXX	X	XX		*						850-
H2	XXX		I								950
H3	XXX	XX	X		*						800
H4	XXX	X	X		*						850
H5	XXX	X	X		*						850
H6	XXX	XX	X	XX	*						800+
H7	XXX	XX	X	XX	*						800?
H8	XXX	XX	I	I	*						850+
V1	XXX	+									950-
V2	XXX	XX	+		*						<800
V3	XXX	X	X	X	*						900+
V4	XXX	+	X		*			?			900+
V5	XXX		I								950
V6	XXX	XXX	X		*						800
V7	XXX		X		*			?			950
V10	XXX		X							X	1000
V11	XXX	X	X	I	*			X			900
V14	XXX	I			*						850
V15	XXX				*						950
V16	XXX		+		*						900
V17	XXX		+		*						900
V18	XXX		XX		*			X			950
V19	XXX	XX	X	I	*						<800
V20	XXX		+					X		X	1000
V21	XXX		XX	X							900+
V22	XXX	XXX	XX	X	*						<800
V23	XXX	X	I		*		X				900-
V5C	XXX		X				X				950-
V6C	XXX		X					X		X	1000-
GD2	XXX	XX	I		*						850
RP6	XXX	X	X								900-

Tongrube Großbettenrain :

Pr.	Nr	Qz	Ill	KF	P	Chl	Mo	CC	Kao1	Do
9623	XXXX	XX	X+	XX+?	X					
9624	XXXX	XXXX	X	XX+?	XXX					XXX
9625	XXX	XXXX	XX	XXX?	XXX					X+
9626	XXX	XXX	XX	XXX?	XXX			XX		XX
9627	XXXX	XXX	XX	XXX?	X					I
9628	XXXX	XXX	X	XXX?	XXX			XXX		XXX
9629	XXX	XXX	XX	XXX?	XX					X
9630	XXX	XXX		XX?	XXX			XX		XXX
9631	XXXX	XXX	X	XX?	XXX			X		XXX
9632	XXXX	XXX	X	X+?	XXX	?		X		XXX
9633	XXXX	XXX	XX	XXX?	XXX			X		XXX
9634	XXXX	XXX	X	XX?	XXX	I		X		XXX
9635	XXXX	XXX	X	XX?	XXX	X				X
9636	XXX	XXX		X?	XXX	X				
9637	XXXX	XX		+?	X	X			XX	
9638	XXXX	XX+	+	X?	X	X+			X	
9639	XXX	X		+?		X			XXXX	
9640	XXX	X	X	+?		X			XXXX	
9641	XXX	+		I?		XX			XXXX	
9642	XXXX	XX	X	X?		X			XXXX	
9643	XXX	X				X			XXXX	
9644	XXX	X	I	I?		X			XXXX	
9645	XXX	X				I			XXXX	
9646	XXX	X	I	I?		X+			XXXX	
9647	XXX	I				X			XXXX	

Tongrube Kleinbettenrain:

TH17	XXXX	XXX				XX				XXX
TH18	XXXX	XXX	X+	X		XXX				XX
TH19	XXX	XXX	X	I?		XXX				X
TH20	XXXX	XXX	X			XXX	I?			?
TH21	XXXX	XXX	I	I		XXX	?		I?	
TH22	XXXX	XXX	I	X		XXX		?		XX
TH35	XXX	?	I				?		XXXX	
TH34	XX	I					I		XXXX	
TH33	XXX	?	I				X		XXXX	
TH32	XXX						X		XXXX	
TH31A	XX						X		XXXX	
TH31B	XX	X	I				XXX		XXXX	
TH30	XXXX	X+	X				?		XXXX	
TH29	XXX	I	I						XXXX	
TH28	XXX	X							XXX+	
TH27	XXXX	X				?			XXX+	
TH26	XXXX+	X	X			?			XX	

verschiedene Kröninger Tone:

Pr.	Nr	Qz	Ill	KF	P	Chl	Mo	Kaol	CC	Do
T108		XXX	XXX	X	XX	XXX				
T92		XXX	X	I			X	XXX		
T93		XXX	XXX	+	X?	XXX	?			
T42		XXX	XXX	I	I	XX	X?			
T39		XXX	XXX	X	I		XX	XX	XX	
T114		XXX	XXX	I	XX		I	I?		
T118		XXX	XX	X	X+		I			
T105		XXX	XXX	I	XX	XX				
T106		XXX	X		X		XX			
T177		XXX	X	I	I		XX			
T178		XXX	XXX	I	X?	X			XX	I
T179		XXX	XX+	I	I	XX				
T181		XXX	XXX	X	XX	XXX	?			
T182		XXX	XX+	X	XX+					
T49		XXX	XX	XX	XX	XX				
T16		XXX	XX	I	I	?	X	XXX		
T8		XXXX	I	I	X		X			

Phasenverteilung der Nachbrände an Tonen

Pr.	Nr	Qz	Ill	KF	P	ML	Häm
9625B		XXX	XXXX	XX	XX	+	
9627B		XXXX	XX	XX	XX	+	
9628B		XXXX	XXX	XX+	X	+	
9629B		XXX	XXX	XX	XX	+	
9630B		XXX	XXX+	XX		+	
9631B		XXX	XXX+	XX		+	
9632B		XX	XXX	X		+	
9633B		XXX	XXX	X+	X	+	
9634B		XXX	XXX	X			XX
9635B		XXX	XXX	X			
9636B		XXX	XXX	XX		+	
9637B		XXX	XXX	X		+	
9638B		XXX	XX+	I		+	
9639B		XX	XX	I		+	
9640B		XXX	I	I		+	
9641B		XXX	+	I		+	
9642B		XXX	I	+		+	
9643B		XX	I	I		+	
TH26B		XXXX	X+	XX		+	
TH27B		XXX	+			+	
TH28B		XXX	X	I		+	
TH29B		XXX	I	I		+	
TH30B		XXXX	X	+		+	
TH32B		XX				+	

Anhang IV: Meßwerte der Korngrößendurchmesser der Magerungskörner

- P - NR = Probennummer
 MW. = Mittelwert der Korngrößendurchmesser eines Dünnschliffes [mm]
 STD. = Standardabweichung " " " " [mm]
 MED. = Median " " " " [mm]
 F = Fläche des Dünnschliffes [cm²]
 KI = Korngrößenindex ($KI = MW \cdot N / F$)
 MAX = Maximaler Korndurchmesser [mm]
 N = Anzahl der Körner eines Dünnschliffes > 0.27 mm

P-NR	MW.	STD.	MED.	F	KI	MAX	N
J1S	.44	3.46	.37	2.09	18.	1.28	84
J2S	.41	3.25	.33	1.93	16.	1.12	74
J3S	.42	3.37	.37	1.65	29.	1.12	112
J4S	Kein Magerungskorn > 0.27 mm						
J4S T	.42	3.30	.37	3.41	14.	1.43	117
J5S	.41	3.12	.37	1.36	25.	.44	84
J6S	.38	3.17	.33	1.21	29.	2.01	94
J7S	.42	3.32	.37	1.05	19.	1.21	49
J8S	.45	3.64	.37	1.27	26.	1.26	73
J9S	.42	3.24	.37	1.00	22.	.88	54
J10S	.40	3.13	.35	1.78	19.	1.12	85
J11 E	.38	3.10	.33	2.64	3.	1.13	23
H1	.48	3.97	.42	1.09	23.	1.45	51
H2	.36	2.71	.35	1.12	9.	.49	29
H3	.36	2.72	.35	1.40	18.	.51	68
H4	.29	2.32	.27	1.76	1.	.35	7
H5	.40	3.24	.33	.69	41.	1.46	70
H6	.39	3.05	.35	1.18	21.	.92	63
H7	.50	4.12	.42	1.09	20.	1.35	44
H8	.38	2.95	.33	1.27	25.	1.10	83
H10F	.42	3.32	.37	1.46	18.	.92	62
H11F	.41	3.13	.37	1.27	16.	.84	51
H12F	.44	3.51	.37	1.72	19.	1.32	75
H13F	.43	3.62	.35	1.46	14.	1.50	46
H14F	.40	3.43	.33	1.52	17.	1.78	65
H15F	.42	3.26	.38	1.47	24.	.95	86
H16F	.42	3.36	.37	1.48	15.	1.01	52
H17F	.40	3.17	.35	1.14	26.	.90	72
H18F	.40	3.13	.35	1.35	16.	.90	53
H19F	.41	3.23	.37	.83	13.	.81	26
H20F	.41	3.27	.35	1.31	17.	.95	53
K2D	.40	3.10	.37	2.71	18.	1.19	123
K3D	.43	3.47	.37	1.70	29.	1.41	115
K4D	.39	3.04	.35	2.02	21.	1.28	106
K5D	.43	3.60	.37	2.41	20.	1.67	114
K6D	.43	3.81	.37	1.82	25.	2.56	106
K7D	.39	3.01	.35	2.41	19.	.99	119
K8D	.44	3.46	.38	1.53	22.	1.34	78
K9D	.40	3.12	.37	1.68	11.	.97	46
K10D	.41	3.25	.37	1.02	17.	1.17	41

P-NR .	MM.	STD.	MED.	F	KI	MAX	N
K1E	.40	3.12	.37	1.51	27.	.99	102
K2E	.40	3.10	.35	1.46	23.	1.24	86
K3E	.40	3.09	.35	1.40	23.	1.01	81
K4E	.37	2.81	.37	1.77	12.	.70	57
K5E	.42	3.36	.37	2.83	29.	1.56	197
K6E	.33	2.51	.31	1.99	3.	.44	21
K7E	.38	2.94	.35	1.86	21.	1.32	105
K8E	.32	2.42	.31	1.83	5.	.44	27
K9E	.40	3.13	.37	2.59	17.	1.46	108
K10E	.42	3.36	.37	2.41	22.	1.65	125
K1A	.33	2.54	.29	1.99	2.	.49	15
K3A	.34	2.57	.33	2.32	5.	.51	34
K4A	.33	2.55	.29	1.98	3.	.46	15
K5A	.36	3.13	.27	1.27	3.	.92	11
K6A	.33	2.70	.27	.93	2.	.42	5
K8A	.36	2.71	.35	2.23	8.	.55	50
K1B	.35	2.78	.31	2.33	1.	.46	7
K4B	.35	2.62	.33	.83	21.	.51	50
K5B	.33	2.50	.31	.97	8.	.49	23
K7B	.33	2.69	.29	.66	2.	.38	5
K8B	.33	2.54	.33	1.96	2.	.40	14
K9B	.32	2.44	.29	1.88	3.	.48	18
K10B	.34	2.59	.31	1.80	3.	.46	18
K1C	.37	2.80	.33	1.66	22.	.95	99
K3C	.38	2.95	.37	1.20	12.	.84	38
K6C	.29	.00	.02	1.73	0.	.31	1
K8C	.39	3.16	.37	2.20	25.	1.83	138
K9C	.40	3.14	.37	1.73	18.	1.15	80
K10C	.29	3.04	.27	1.81	0.	.31	2
K11C	.46	3.77	.40	2.41	14.	1.83	76
K1W	.39	2.97	.37	1.58	28.	1.23	115
K4O	.38	3.00	.31	1.58	4.	.64	18
K1S	.43	3.54	.37	1.61	18.	1.83	67
K2S	.35	2.61	.33	2.21	18.	.59	117
K4S	.42	3.26	.40	2.98	5.	.92	34
K5S	.36	2.73	.33	1.74	12.	.70	59
K1H	.35	2.60	.35	1.11	24.	.49	77
K2H	.34	2.56	.31	1.89	13.	.64	71
K5H	.36	2.70	.35	1.78	24.	.64	119
K9H	.41	3.15	.37	2.91	10.	.92	74
J1E	.33	2.51	.33	2.14	5.	.46	34
J3E	.37	2.79	.37	1.23	6.	.51	20
J4E	.36	2.83	.33	1.26	4.	.51	13
J6E	.32	2.69	.29	1.45	1.	.38	4
J8E	.31	2.34	.29	1.73	3.	.38	17
J12E	.32	2.49	.31	2.30	1.	.37	10
J13E	.44	3.86	.33	1.14	2.	.79	5
J4WO	.42	3.54	.37	1.95	3.	.99	14
J6WO	.37	2.83	.35	.86	14.	.73	32
J7WO	.32	2.50	.29	2.79	1.	.44	11
J9WO	.32	2.50	.29	1.08	4.	.60	15
J11WO	.34	2.54	.33	1.58	8.	.51	39
JWS1	.40	3.17	.35	2.34	12.	1.04	67
JWS2	.36	2.71	.33	3.14	43.	.88	374
JWS4	.40	3.13	.35	2.19	28.	1.28	154
JWS10	.42	3.56	.35	2.48	25.	1.68	149
JWH14	.40	3.11	.37	1.11	19.	.92	52

P-NR.	MM.	STD.	MED.	F	KI	MAX	N
H3S	.45	3.70	.38	1.81	19.	1.57	76
H4A	.35	2.68	.33	.94	7.	.46	19
H5A	.42	3.49	.35	1.83	13.	1.28	57
H6A	.33	2.56	.29	1.99	2.	.46	11
H7A	.36	2.69	.35	2.04	10.	.60	55
H8A	.46	3.66	.38	2.32	18.	1.19	93
H1B	.48	3.85	.42	.76	17.	.93	27
H1B I	.49	4.34	.42	1.20	23.	2.47	57
H2B	.47	3.99	.37	.75	18.	1.57	29
H6B	.49	3.91	.42	1.62	20.	1.13	66
H7B	.44	3.40	.38	1.69	26.	.92	102
H8B	.50	4.11	.40	1.37	20.	1.34	54
H9B	.40	3.32	.35	.72	16.	1.10	29
H10B	.48	3.89	.42	1.99	14.	1.13	56
H3C	.44	3.59	.37	1.48	27.	1.59	92
H4C	.42	3.21	.40	.85	11.	.60	22
H5C	.44	3.49	.35	2.16	31.	1.24	152
H6C	.34	2.59	.31	1.88	8.	.66	46
H7C	.42	3.32	.37	1.43	17.	1.19	57
H8C	.44	3.48	.38	1.75	16.	1.28	63
H10C	.39	3.14	.35	1.84	23.	1.65	106
HC10	.35	2.63	.33	2.92	13.	.70	110
HB5	.50	4.05	.44	1.83	15.	1.35	56
B1A	.36	2.70	.33	2.11	11.	.71	66
B2A	.34	2.59	.31	1.99	5.	.59	31
B3A	.31	2.74	.27	2.07	0.	.33	3
B4A	.34	2.61	.29	1.33	5.	.60	19
B5A	.35	2.70	.33	1.99	7.	.64	39
B7A	.36	2.73	.35	.98	12.	.55	32
B8A	.45	3.52	.38	1.99	22.	1.01	96
B9A	.35	2.71	.31	1.02	9.	.60	25
B11A	.34	2.52	.31	2.13	7.	.49	45
B12A	.38	2.92	.37	1.25	6.	.51	20
B14A	.35	2.60	.33	1.88	10.	.60	53
B16A	.36	2.70	.33	2.38	11.	.59	74
B17A	.35	2.61	.33	1.59	16.	.62	72
B18A	.34	2.55	.33	1.05	14.	.49	44
B19A	.36	2.72	.35	2.76	6.	.51	47
B20A	.34	2.55	.33	1.65	9.	.46	45
B1G	.29	2.48	.29	.92	1.	.31	4
B2G	.32	2.48	.29	2.23	2.	.42	13
B3G	.32	2.51	.29	1.16	3.	.42	10
B4G	.33	2.51	.31	3.40	2.	.49	18
B5G	.34	2.57	.33	1.48	7.	.53	32
B6G	.34	2.62	.33	1.50	5.	.55	20
B7G	.32	2.45	.29	1.47	2.	.44	11
B11G	.34	2.63	.33	1.69	5.	.55	23
B12G	.35	2.66	.33	2.00	4.	.60	21
B14G	.32	2.85	.31	3.36	0.	.33	3
B15G	.31	2.39	.29	1.88	2.	.40	11
B16G	.37	3.04	.31	1.48	4.	.73	14
B17G	.36	2.92	.29	2.89	2.	.73	16
B18G	.37	2.77	.35	2.27	13.	.59	78
B19G	.32	2.40	.31	2.31	3.	.42	24

P-NR .	MM.	STD.	MED.	F	KI	MAX	N
B20GH	.36	2.77	.33	1.34	8.	.59	28
B21GS	.35	2.70	.31	1.72	6.	.57	27
B23GS	.34	2.59	.31	1.22	6.	.59	22
B24G	.38	2.94	.35	3.50	4.	.70	39
B25GS	.35	2.63	.31	2.06	6.	.53	33
OZ1	.37	2.80	.33	1.22	29.	.92	96
OZ3	.36	2.70	.33	1.84	8.	.70	40
OZ5	.39	2.93	.37	1.63	12.	.81	51
OZ10	.41	3.20	.37	1.66	12.	1.01	49
G1	.32	2.40	.31	1.94	3.	.40	19
G2	.56	5.94	.27	1.94	1.	1.46	5
RP3	.55	4.31	.51	2.84	11.	1.19	56
RP8	.69	5.86	.59	4.41	7.	1.83	46
HUS8	.42	3.27	.37	2.29	13.	.99	68
HUS10	.41	3.18	.37	2.51	18.	.92	112
HUS14	.47	3.92	.37	2.08	14.	1.50	60
HUO6	.35	2.63	.33	1.64	15.	.55	69
HUO7	.37	2.80	.35	5.03	6.	.92	83
HUO14	.35	2.68	.33	2.33	14.	.68	93
HUB6	.35	2.61	.33	2.95	14.	.59	118
HUB6W	.35	2.70	.33	1.97	22.	1.23	124
HUB12	.38	2.97	.35	1.14	17.	.92	52

Anhang V : Kurze Dünnschliffbeschreibung der Brennversuche

(die Zahlenangaben in Klammern geben die gemessene Dünnschlifffläche [cm²] an, die anderen Werte beziehen sich auf die Durchmesser von angeschnittenen Körnern [mm])

Tone bei 850°C gebrannt:

- T9625 : (3.30) kein Korn > 0.27mm, sehr viele große Glimmer meist .9 – 0.27mm.
- T9627 : (2.59), .27, .27, .29, .29, .29, .31, .33, .33, .33, .35, .40mm – viele kleinere Körner, Glimmer gut zu erkennen, bis > .18mm.
- T9628 : (5.04), .29mm, viele Körner zwischen .09 und .27mm, (Plagioklas mit Einschlüssen).
- T9629 : (3.35), – .29 – sehr viele Körner und Glimmer zwischen .9 – .27mm, wenig Matrix, (Glimmer haben graue Interferenzfarbe)
- T9630 : (4.47), kein Korn > .27mm, meist .09 – .18 mm, viele kleine Körner und Glimmer.
- T9631 : (5.30), kein Korn > .27mm, viele kleine Glimmer.
- T9632 : (2.71), kein Korn > .27mm, kaum kleinere Körner, Schichtsilikate mit Analysator gut zu erkennen, dabei Matrix schwarz.
- T9633 : (4.87), kein Korn > .27mm, (Aggregate mit feinen Glimmern).
- T9634 : (3.47), kein Korn > .27mm, kleine Glimmer, kaum Quarz.
- T9635 : (5.90), kein Korn > .27mm, kleine Glimmer, wenige kleine Körner.
- T9636 : (3.79), kein Korn > .27mm, wenig kleine Körner, Glimmer teilweise zu erkennen.
- T9637 : (1.93), – .27, .31, .33mm – insgesamt sehr wenige kleinen Körner, Glimmer gut zu erkennen.
- T9638 : (1.25), kein Korn > .27mm, sehr wenige Körner, Schichtsilikate sehr klein.
- T9641 : (1.15), kein Korn > .27mm, viele kleine Körner zwischen .01 und .09mm, Schichtsilikate sehr klein.
- T9642 : (1.78), kein Korn > .27mm, viele kleine Körner zwischen .01 und .09mm, Schichtsilikate sehr klein.
- T9643 : (2.11), kein Korn > .27mm, kaum kleinere Körner, Schichtsilikate sehr klein.
- TH 27 : (2.50), – .27, .29, .31, .31, .33, .38, .42mm – sehr viele kleinere Körner < .09mm, etwas größere Glimmer.
- TH 28 : (1.46), kein Korn > .27mm, wenige kleinere Körner, Schichtsilikate sehr klein.
- TH 29 : (1.07), vgl. TH 28.
- TH 30 : (1.17), kein Korn > .27mm, viele kleine Körner meist < .9mm, wenige deutliche Glimmerblättchen.
- TH 32 : (1.36), kein Korn > .27mm, fast keine kleineren Körner, keine Schichtsilikate zu erkennen.

Dünnschliffbeschreibung der Brennreihen

T9646 : reduzierend gebrannt

- 500 °C : kleine Quarze, feinste Glimmer und Tonminerale, rote Flecken, der Dünnschliff erscheint mit Analysator hell, 18mm Pflasterquarz
- 550 °C : vgl. oben, 0.46mm
- 600 °C : vgl. oben
- 650 °C : vgl. oben, einen Mikroklin, rotbraune Flecken 0.31, 0.20mm
- 700 °C : vgl. oben, schwache rotbraune Flecken, 0.37mm
- 750 °C : vgl. oben, ein Tourmalinkristall, keine roten Flecken mehr, 0.27, 0.33mm
- 800 °C : vgl. oben,
- 850 °C : vgl. oben, 0.27, 0.29, 0.33, 0.49mm
- 900 °C : vgl. oben, nur noch schwache Interferenzfarben der Glimmer, 0.37, 0.31mm
- 1000°C : fast keine Interferenzfarben der Glimmer mehr, die Quarze stechen mit Analysator hervor, 1.55mm

T9638 : reduzierend gebrannt

- 500 °C : wenig kleine Quarzkörner, feinste Glimmer und Tonminerale, rote Flecken, heller Schliff mit Analysator, 0.37mm
- 550 °C : vgl. oben, 0.27mm
- 600 °C : vgl. oben,
- 650 °C : vgl. oben, rotbraune Flecken, 0.46, 0.49mm
- 700 °C : vgl. oben, schwache rotbraune Flecken, 0.31mm
- 750 °C : vgl. oben, keine roten Flecken mehr, 0.31, 0.44mm
- 800 °C : vgl. oben, 0.44mm
- 850 °C : vgl. oben, Schliff wird merklich dunkler mit Analysator, 0.27, 0.27, 0.31, 0.38mm
- 900 °C : vgl. oben, (ein Tourmalinkorn)
- 950 °C : vgl. oben, nur noch von großen Glimmern Interferenzfarben,
- 1000°C : vgl. oben, Schliff dunkel bis auf die Quarze, 0.29, 0.47, 0.49, 0.51mm

T9646 : oxidierend gebrannt

- 450 °C : wenig kleine Quarze, rote Flecken, kleine Glimmer und Tonminerale, heller Schliff mit Analysator
- 500 °C : vgl. oben,
- 550 °C : vgl. oben
- 650 °C : vgl. oben, kl. Tourmalin, 0.37mm
- 700 °C : vgl. oben
- 750 °C : vgl. oben, 0.33mm

- 800 °C : vgl. oben, Schliff erscheint etwas dunkler mit Analysator, die roten Flecken sind noch vorhanden, 0.33mm
850 °C : vgl. oben, 0.33mm
900 °C : vgl. oben, 0.29, 0.37mm
1000°C : vgl. oben, Tonminerale fast isotrop, rote Flecken, 0.38mm

T9638 : oxidierend gebrannt

- 450 °C : kleine Quarze, kleine Glimmer und Tonminerale, rote Flecken, 0.29, 0.37, 0.46mm
550 °C : vgl. oben, 0.35mm
600 °C : vgl. oben, 0.27, 0.40mm
650 °C : vgl. oben, 0.29, 0.40, 0.37, 0.38mm
750 °C : vgl. oben, 0.42, 0.53(Pflasterquarz)mm
800 °C : vgl. oben, 0.31mm
850 °C : vgl. oben, 0.37, 0.95mm
900 °C : vgl. oben, Schliff wird dunkler,
950 °C : vgl. oben, rote Flecken werden braun, Schliff dunkler wie oben
1000°C : vgl. oben, kaum noch Interferenzfarben der Glimmer, .27, .29, .40, .80mm

Tabellarischer Lebenslauf

Name : Hans - Jürgen Schwarz
Geburtsdatum/ - ort : 05.11.1955 / Niedersaubach

Schulbildung :

Volksschule Niedersaubach		1962 - 1965
Staatl. Realgymnasium Lebach	Abitur	1965 - 1975

Wehrdienst : 7.1975 - 9.1976

Studium :

Universität des Saarlandes	Studium Mineralogie	10.1976 - 9.1980
University College of Swansea	Undergraduate Diploma in Geology	10.1980 - 7.1981
Universität des Saarlandes	Diplom in Mineralogie	10.1981 - 4.1984
Ludwig Maximilians Universität München	Promotionsstudium am Institut für Mineralogie und Petrographie	9.1984 - 2.1989

Berufliche Tätigkeiten :

Universität des Saarlandes, Institut für Mineralogie	wissenschaftlicher Mitarbeiter	10.1982 - 3.1984
Universität München, Institut für Mineralogie und Petrographie	wissenschaftlicher Mitarbeiter	9.1984 - 9.1987
Doerner - Institut, München	wissenschaftlicher Mitarbeiter	2.1988 - 7.1988
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover	wissenschaftlicher Angestellter	seit 3.1989

